A. hyd.

Handbuch

der

Wasserbaukuns

von

G. Hagen.

Dritter Theil.

Seeufer-

und

Hafen - Bau.

III. 1. 2

Erster Band.

Mit einem Atlas von 9 Kupfertafeln in Folio.

Berlin 1863.

Verlag von Ernst & Korn.

(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Anzeige.

Hagen's Handbuch der Wasserbaukunst

dritter Theil.

Auch unter dem Titel:

Seeufer- und Hafen-Bau,

wird vier Bände umfassen und mit einem Atlas von circa 50 Kupfertafeln in Folio begleitet sein. Dem vorliegenden ersten Bande, welchem 9 Kupfertafeln beigegeben sind, wird noch in diesem Jahre, und zwar zur Michaelis-Messe, der zweite Band folgen, dessen Druck bereits begonnen ist.

Den dritten und vierten Band, mit welchem das **Handbuch der Wasserbaukunst** zum vollständigen Abschluſs kommt, hofft der Herr Verfasser schon im nächsten Jahre beendigen zu können.

Berlin, Januar 1863.

Die Verleger
Ernst & Korn.

In demselben Verlage sind unter andern folgende Werke erschienen:

Bauausführungen des Preussischen Staates. Herausgegeben von dem Königl. Ministerium für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten. 2 Bde. 4. Mit 137 Kupfertafeln in gr. Folio. 42 Thlr.

Brix, Dr. P. W. **Untersuchungen über die Heizkraft der wichtigeren Brennstoffe des Preussischen Staates.** Im Auftrage des Vereins zur Beförderung des Gewerbfleifses in Preufsen und mit Unterstützung des Königl. Ministeriums für Handel und Gewerbe. Nebst einem Anhange, enthaltend: die Elementar-Analyse der untersuchten Brennstoffe. Mit 2 Kupfertafeln. gr. 4. geh. 7⅓ Thlr.

Corssen, Dr. H., ord. Lehrer an der Königl. Bau-Akademie und an der Königl. vereinigten Artillerie- und Ingenieur-Schule. **Vorlegeblätter für Maschinen-Constructionen.** Zum Gebrauch in den technischen Lehr-Anstalten Preufsens mit Unterstützung Sr. Excellenz des Herrn Ministers für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten. 12 Blatt gröfstes Imperial-Folio in farbigem Druck. Mit erläuterndem Text. 6 Thlr.
Vollständig cart. 6⅔ Thlr.

Garcke, L., Eisenbahn-Direktor, Regierungs- und Baurath a. D. **Comparative Berechnungen** der Kosten der Personen- und Güter-Transporte auf den Eisenbahnen, zur Beurtheilung der Frage über die zulässigen oder möglichen Minimal-Sätze. Lex.-8. broch. 1½ Thlr.

Grapow, Hermann, Königl Eisenbahn-Baumeister. **Anleitung zur Aufsicht bei Bauten.** Ein Handbuch für Hülfsbeamte im Bauwesen zur Belehrung über die verschiedensten gewöhnlichen Bauausführungen und ihre Kosten, sowie zur Erlangung der nothwendigsten mathematischen und physikalischen Vorkenntnisse; insbesondere für Aufseher bei Land-, Wege-, Eisenbahn-, Strom- und Canal-Neubauten, sowie für Aufseher an vorhandenen Chausseen und Wegen, Bahnmeister an Eisenbahnen, Strom- und Canal-Aufseher, Bauschreiber, Bauunternehmer, Mauer- und Zimmerpoliere; zugleich eine Vorschule für Solche, die sich dem bautechnischen Studium widmen wollen.

Handbuch

der

Wasserbaukunst

von

G. Hagen.

Dritter Theil:

Das Meer.

Erster Band mit 9 Kupfertafeln.

Berlin 1863.
Verlag von Ernst & Korn.
(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)

Seeufer-

und

Hafen-Bau.

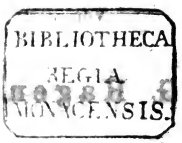
Von

G. Hagen.

Erster Band.

Mit einem Atlas von 9 Kupfertafeln in Folio.

Berlin 1863.
Verlag von Ernst & Korn.
(Gropius'sche Buch- und Kunsthandlung.)



Die Herausgabe von Uebertragungen in fremde Sprachen behält sich die Verlagshandlung vor.

Vorwort.

Als ich im zweiten Theile des Handbuches der Wasserbaukunst das Erscheinen dieses dritten Theiles in nahe Aussicht stellte, und zugleich einen sehr mäfsigen Umfang desselben bezeichnete, war es meine Absicht, mich auf die Beschreibung der an der Preufsischen Ostsee-Küste üblichen Anlagen zu beschränken, wie ich solche als Hafen-Bauinspector grofsentheils selbst ausgeführt hatte.

Bei Bearbeitung des zu diesem Zwecke gesammelten Materials trat jedoch zunächst das Bedenken auf, dafs der stets wachsende Verkehr in unsern Seehäfen vielfache und begründete Anforderungen hervorgerufen hat, die sich daselbst früher nicht geltend machten. Wiederholte Reisen nach England, Frankreich und den Niederlanden liefsen mich zugleich bemerken, dafs zwischen den Häfen an der Ostsee und denen an gröfseren Meeren nicht so wesentliche Unterschiede bestehn, dafs die bei den letztern gemachten Erfahrungen für uns ganz bedeutungslos bleiben dürften. Hierzu kam noch, dafs ich in neuerer Zeit sowol dienstlich, als auch in Folge anderweiter Aufforderungen mit Hafen-Anlagen an der Ostsee und Nordsee beschäftigt, und dadurch veranlafst wurde, in die verschiedenen Einzelheiten des Gegenstandes wiederholentlich einzugehn.

In gleichem Maafse, wie das Material sich vermehrte und an Bedeutung gewann, überzeugte ich mich auch, dafs dasselbe in den hydrotechnischen Schriften bisher nur sehr unvollstän-

dig behandelt ist, woher es sich erklärt, dafs man in keinem andern Theile der Wasserbaukunst so abweichenden und unklaren Auffassungen begegnet, als im Hafenbau. Das Werk von Minard ist das einzige, worin der Gegenstand systematisch und umfassend vorgetragen wird, aber auch dieses läfst viele Lücken, und selbst die wichtigsten Punkte sind darin nicht so vollständig entwickelt, dafs der Zusammenhang der Erscheinungen klar wird.

Bei der Beweglichkeit der grofsen Wassermasse des Meeres veranlassen die verschiedenen darauf einwirkenden Kräfte, die zum Theil so geringe sind, dafs sie jeder sonstigen Wahrnehmung sich entziehn, die überraschendsten Wirkungen. Letzteren zu begegnen, oder sie zu benutzen, ist die Aufgabe, die bei See- und Hafenbauten sich immer wiederholt, die aber nicht mit Sicherheit zu lösen ist, so lange die dabei eintretenden Bewegungen unbekannt sind. Eine ausführliche Behandlung derselben, so wie auch ihrer Wirkungen, war daher dringend geboten. Durch Beobachtungen im Grofsen, wie durch Versuche im Kleinen, habe ich mich bemüht, in allgemeinen Umrissen den Zusammenhang der Wellenbewegung und der durch sie veranlafsten Erscheinungen mit den bekannten Naturgesetzen nachzuweisen.

Durch Vorstehendes hoffe ich sowol die Verzögerung der Herausgabe dieses dritten Theiles entschuldigt, als auch den gröfsern Umfang desselben gerechtfertigt zu haben. Er wird vier Bände von der Stärke des vorliegenden umfassen, und diese sollen in der kürzesten Frist einander folgen.

Gewifs wird mancher Baumeister beim Durchblättern dieses Bandes es nicht billigen, dafs ich heutiges Tages noch auf theoretische Entwickelungen zurückgehe, und sogar den bekannten alten Theorieen noch neue hinzuzufügen versuche. Ich kann zwar die Zusage machen, dafs dieser Vorwurf die folgenden Bände viel weniger treffen wird, als diesen ersten, das Bedenken ist jedoch so wichtig, dafs es eine eingehende Erörterung fordert.

Der Gegensatz zwischen Theorie und Praxis tritt gegenwärtig in der Wasserbaukunst zum grofsen Nachtheil der Wissenschaft und Technik viel schärfer hervor, als er jemals war, und das Mifstrauen, womit man heutiges Tages jede theoretische Untersuchung auf diesem Gebiete aufnimmt, ist allerdings in Betreff der üblichen Theorieen nicht ungegründet, es wird aber gewöhnlich mehr durch persönliche, als durch sachliche Rücksichten erweckt und genährt. Wenn der Oekonom, der Arzt oder der Fabrikant wichtige und einflufsreiche Erscheinungen durch Versuche und Nachdenken aufzuklären sich bemüht, so findet ein solches Streben allgemeine Anerkennung. Im Wasserbau ist es anders! Als ich mit der Theorie der Wellen mich beschäftigte, deren mächtige und räthselhafte Wirkungen den Hafenbaumeister fortwährend in Anspruch nehmen, bin ich sehr ernsthaft gefragt worden, ob ich wirklich glaube, dafs solche Speculation zu einem practischen Resultate führen könne.

Seit dem ersten Auftreten der Theorie im Wasserbau ist dieselbe gewifs immer von Einzelnen zurückgewiesen und verdächtigt worden. Diese Mifsachtung ist eine chronische Krankheit, die niemals vollständig aufhören wird, die aber unter gewissen äufsern Einflüssen leicht einen epidemischen Charakter annimmt. Dieses ist gegenwärtig der Fall, und man mufs daher durch unbefangene Darlegung des Sachverhältnisses ihr entgegen treten.

Es ist an sich klar, dafs der angehende Wasserbaumeister die Befähigung zu seinen verschiedenen dienstlichen Verrichtungen durch theoretische Studien allein nicht erwerben kann. Selbst Vorträge und technische Schriften genügen hierzu nicht, er mufs vielmehr durch eigne Anschauung und Uebung sich für seinen Dienst ausbilden. Schon zur Beurtheilung des Materials und der Arbeit ist dieses nothwendig, eben so auch zur richtigen Anstellung der Arbeiter, damit jeder derselben anhaltend und zwar seiner Geschicklichkeit und physischen Kraft entsprechend beschäftigt und weder durch Andere, noch

durch Mangel an Material oder durch unpassende Aufstellung desselben behindert wird. Er muſs ferner gewohnt sein, die Leute angemessen zu behandeln, die Aufsicht zweckmäſsig einzurichten und Alles selbst zu controliren. Er muſs Uebung in der Rechnungs- und Geschäftsführung, so wie auch im Zeichnen u. d. g. besitzen. Dieses Alles mit Einschluſs der Fertigkeit im Projectiren und Veranschlagen gewöhnlicher Wasserbauwerke läſst sich ohne theoretische Vorbildung erlernen, und wer hierin Uebung und Geschicklichkeit besitzt, ist im eigentlichen Sinne des Wortes ein practischer Wasserbaumeister.

Ein solcher ist für den gewöhnlichen Dienst sehr brauchbar, aber die Ausbildung in diesem Sinne wird durch wissenschaftliche oder theoretische Studien keineswegs behindert, vielmehr in vielfacher Beziehung wesentlich erleichtert. Die Möglichkeit einer Verbindung der Theorie mit der Praxis stellt indessen der moderne Practiker entschieden in Abrede. Er theilt die Baumeister in practische und theoretische ein, und je mehr er sich vor dem Verdachte sicher weiſs, zu den Letzteren zu gehören, eine um so höhere Stelle nimmt er unter den Ersteren in Anspruch. Er thut dieses auch in dem Falle, wenn er jene practischen Geschicklichkeiten gar nicht, oder nur in sehr geringem Maaſse besitzt.

Mir sind Bauausführungen bekannt geworden, durch welche eine ununterbrochene Kette von Versäumnissen, Miſsgriffen und Verlegenheiten sich hindurchzog. Indem die localen Preise und sonstigen Verhältnisse nicht untersucht waren, so machten Lieferanten und Bauunternehmer glänzende Geschäfte. Wenn Material auf der Baustelle war, so fehlte es an Arbeitern, und wenn diese sich endlich zahlreich eingefunden hatten, so muſsten sie wieder entlassen werden, weil das Material inzwischen verbraucht war. Einzelne bereits ausgeführte Theile erwiesen sich sogleich als verfehlt, und wurden deshalb beseitigt, während andere schon vor Beendigung des Baues einstürzten. Dieses war aber ein günstiges

Ereignifs, weil es Gelegenheit gab, die ganze Anlage überhaupt nutzbar zu machen. Indem später noch verschiedene Aenderungen und Verbesserungen hinzukamen, so entstanden in solcher Weise schliefslich Bauwerke, die, wenn auch mit wesentlichen Mängeln behaftet, dennoch für den Verkehr von grofsem und zuweilen von unschätzbarem Werthe geworden sind. Unerachtet aller Unfälle und der dadurch veranlafsten Mehrkosten und Verzögerungen, worüber vielfach laute Klage geführt ist, blieben die Baumeister dennoch sowol nach ihrem eignen, als nach dem allgemeinen Urtheile, sehr practische Männer.

Fragt man, wodurch sie in solchen Fällen ihre practische Befähigung bewiesen, so mufs zunächst hervorgehoben werden, dafs sie jedesmal von dem Verdachte frei geblieben sind, Theoretiker zu sein. Ihr vermeintlicher practischer Sinn hatte sie der Mühe überhoben, bei Aufstellung der Entwürfe die Verhältnisse näher zu prüfen und den ganzen Fortgang des Baues vorher in Erwägung zu ziehn, durch Unbefangenheit und schnellen Entschlufs in jeder Verlegenheit sicherten sie sich aber das früher in sie gesetzte Vertrauen. „Wenn Ihr Euch nur selbst vertraut, so traun Euch auch die andern Seelen“ sagt Göthe sehr treffend. Der practische Sinn verbietet jedoch, in dieser Beziehung gewisse Grenzen zu überschreiten. Gleichgestellten und Untergebenen gegenüber folgt der Practiker seiner eigenen Auffassung und duldet keinen Widerspruch, dagegen theilt er stets die Ansichten, die in höheren Kreisen sich bereits gebildet haben.

Unbedingt mufs er jede fremde und eingehende Beurtheilung von sich fern halten, und dieses gelingt ihm, wenn er dem Gegensatze zwischen Theorie und Praxis in voller Schroffheit Geltung verschafft: wer sich mit Theorie beschäftigt hat, ist für die Praxis unbrauchbar!

Unglücklicher Weise sind die Theoretiker sehr selten, namentlich im Wasserbau. Um daher ein abschreckendes Bild von ihnen zu entwerfen, mufs der Practiker seine Phan-

tasie zu Hülfe nehmen, und hierdurch erklärt es sich, dafs abgesehn von recht langen analytischen Formeln, die immer als Embleme der Theorie gedacht werden, der fingirte Theoretiker eine unverkennbare Aehnlichkeit mit solchem Practiker selbst hat. Dieser wie jener folgt seinen Ideen, ohne auf Erfahrungen Rücksicht zu nehmen. Schon vor hundert Jahren nannte Antonio Lecchi *) diese practische Auffassung der mathematischen Studien: „ein altes abgeschmacktes Lied, das immer von Neuem abgesungen wird, so oft Unwissenheit, Eigennutz, Selbstsucht und Parteiung zusammentreffen."

In gewöhnlichen Fällen ist, wie bereits erwähnt, die Theorie meist entbehrlich. Selbst bei neuen Anlagen pflegt es nicht an gewissen, bereits vorhandenen Bauwerken zu fehlen, aus deren Verhalten man mit einiger Sicherheit auf die zu wählende Anordnung und auf die passenden Dimensionen des beabsichtigten Baues schliefsen kann. Häufig genügen indessen solche Analogieen nicht, und man mufs auf sonstige Erfahrungen und auf allgemeine Grundsätze zurückgehn. Um diese gehörig zu berücksichtigen und darnach die richtige Wahl zu treffen, ist ein einfaches Räsonnement gemeinhin wieder nicht ausreichend, und es bleibt alsdann nur übrig, die kräftige Hülfe der Theorie in Anspruch zu nehmen. Je zahlreicher und genauer die ihr zum Grunde gelegten Beobachtungen und Erfahrungen sind, und je verständiger dieselben benutzt werden, um so sicherer ist auch das daraus hergeleitete Resultat, oder um so zweckmäfsiger wird das darauf beruhende Bauproject sein.

Der Practiker, der auch in solchem Falle mit gewohnter Leichtigkeit sich bewegt, vermeidet diesen Umweg und schnell entschlossen verfolgt er irgend eine Idee, die sich ihm darbietet, die er aber sogleich als die allein zulässige anerkennt und eifrig vertheidigt. Mancher Strom ist eine Reihe von

*) In der Vorrede zum *Piano della separazione de' tre torrenti etc. Raccolta d'autori che trattano del moto dell' acque. Tomo VIII. Firenze* 1770. *Pag.* 287.

Generationen hindurch immer practisch, aber beim jedesmaligen Wechsel des leitenden Baumeisters auch immer anders behandelt, und ohnerachtet aller darauf verwendeten Kosten doch nicht so weit verbessert worden, daſs die Arbeiten des Vorgängers jemals als erfolgreich angesehn wären.

Wenn man dagegen die Bauprojecte auf sorgfältige Erwägung der bisherigen Erfahrungen gründet, so werden freilich beim Hinzutreten neuer Thatsachen die Ansichten sich nach und nach berichtigen, unmöglich können sie aber so wesentlich von einander abweichen, wie die practischen Auffassungen. Auſserdem läſst auch die unbefangene und methodische Untersuchung, die von genauen Beobachtungen ausgeht, das erreichbare Ziel richtiger erkennen und führt sicherer zu demselben, als wenn man nur von flüchtigen Auffassungen sich leiten läſst. Solche methodische Untersuchung ist aber nichts Anderes, als die Theorie in der wahren Bedeutung des Wortes.

Diese Theorie ist ganz verschieden von derjenigen, die im Wasserbau gilt. Ein beklagenswerthes Miſsgeschick waltet über der letzteren. Reinhard Woltman erwarb sich am Schlusse des vorigen Jahrhunderts die wesentlichsten Verdienste um sie, indem er theils aus Dubuat's Beobachtungen brauchbare Resultate ableitete, theils auch verschiedene Untersuchungen selbst ausführte und mit eignen Erfahrungen und Messungen verglich. Seine Arbeiten zeichnen sich besonders durch den wissenschaftlichen Sinn aus, der darin überall hervortritt. Mit der gröſsten Gewissenhaftigkeit prüfte er jedes Resultat, zu dem er gelangte, und verschwieg niemals einen Zweifel, der ihm noch blieb. Alles was er gab, stellte er nur als erste Annäherung an die Wahrheit dar, und eröffnete hierdurch ein weites Feld der spätern Forschung.

Diese Aussicht auf eine gedeihliche Förderung der Wissenschaft wurde indessen unmittelbar darauf wieder vernichtet. Die von Woltman aufgestellten noch sehr unsichern Gesetze wurden mit manchen, nicht glücklichen, Abänderungen zu

absoluten Wahrheiten gestempelt, und dadurch jedem weitern Fortschritt Schranken gesetzt.

Gewifs war es ein sehr anerkennungswerthes Unternehmen, nach dem damaligen Stande der Wissenschaft diejenigen Aufgaben zu behandeln und zusammenzustellen, die der Wasserbaumeister in seinem Dienste am häufigsten zu lösen hat. Auch war es sehr zweckmäfsig, diese Auflösungen in bestimmten Regeln auszudrücken und durch Zahlenbeispiele zu erläutern, so dafs auch derjenige, dem die theoretische Vorbildung ganz abgeht, sich leicht darin finden und darnach rechnen kann. Der früheren Willkür und den damit verbundenen grofsen Mifsgriffen wurde hierdurch vorgebeugt, aber diese Gesetze und Regeln waren noch sehr unsicher, und durften daher nicht als absolut richtig dargestellt werden. Noch nachtheiliger war es, dafs denselben Beweisführungen beigefügt wurden, deren Unhaltbarkeit leicht zu erkennen ist, die der angehende Baumeister jedoch gläubig erlernt. Hierdurch konnte nur, wie auch wirklich geschehn, entweder der Sinn für scharfe und richtige Auffassung der Erscheinungen abgestumpft, oder schon beim ersten Studium ein sehr begründetes Mifstrauen gegen die Theorie überhaupt erweckt werden.

In dem ausgedehnten und ohne Zweifel schwierigen Gebiete der Hydraulik sind seit jener Zeit zwar sehr beachtenswerthe Schritte gethan, indem sowol einzelne Erscheinungen sorgfältig beobachtet, als auch in angemessner Weise daraus Resultate gezogen sind. Solche Bestrebungen konnten indessen im Wasserbau keine Anerkennung finden, weil sie sich an jenes Lehrbuch nicht anschlossen.

Vorzugsweise sind die Erfolge derjenigen baulichen Anlagen noch sehr unsicher, welche die dabei beabsichtigten Zwecke nicht unmittelbar herbeiführen, die vielmehr das Wasser zu gewissen Wirkungen veranlassen sollen. Hierher gehören beispielsweise die Buhnen. Die Erfahrung hat zwar auch bei ihnen zu manchen Regeln geführt, aber zur klaren Ein-

sicht in ihre Wirkungen und dadurch zur Entscheidung über ihre zweckmäfsigste Anordnung ist man noch keineswegs gelangt. Selbst die Frage, unter welchen Verhältnissen das Wasser den Boden angreift, ist bisher nicht genügend beantwortet. Eben so wenig kennt man die Bewegungen, welche diese Werke bei den verschiedenen Wasserständen veranlassen. Aehnlichen Zweifeln begegnet man in allen Einzelheiten, und der Zusammenhang der ganzen complicirten Erscheinung in der Ausbildung eines Strombettes oder eines Ufers ist noch vollständig dunkel. Der gröfste Uebelstand besteht aber darin, dafs dieser Mangel gar nicht erkannt wird, vielmehr die Ansicht verbreitet ist, dafs jene Theorieen schon so vollständig über Alles Aufschlufs geben, wie dieses von Theorieen nur erwartet werden kann.

Solange diese Auffassung gilt, eröffnet sich keine Aussicht auf gedeihliche Förderung der Wissenschaft und Technik. Es ist daher nothwendig, die bestehenden Mängel unumwunden aufzudecken, und zugleich die Wege zu bezeichnen, die in andern empirischen Wissenschaften zu Erfolgen geführt haben. Den angehenden Wasserbaumeistern fehlt es weder an der nöthigen allgemeinen Vorbildung, noch an lebhaftem Interesse für ihr Fach, und wenn der spätere Dienst sie auch oft vollständig in Anspruch nimmt, so werden sie doch, sobald sie die Mängel und die Mittel zu deren Verbesserung kennen, jede Gelegenheit wahrnehmen, um wichtige Erscheinungen wenigstens sicher festzustellen. Vielfach werden sie alsdann aber auch sich bemühn, den Zusammenhang derselben mit andern Erfahrungen und mit den allgemeinen Naturgesetzen aufzuklären. Es kommt sonach zunächst darauf an, dafs sie vor dem blinden Glauben an Autoritäten gewarnt, und daran gewöhnt werden, selbst zu sehn und zu beobachten, und selbst zu urtheilen. Die mathematischen Studien haben keinen andern Zweck, als dieses Urtheil unter complicirten Verhältnissen, die der blofse Verstand nicht umfassen kann, sicher zu leiten. Für solchen Ge-

brauch dürfen die Lehrsätze aber nicht nur mit ihren Beweisen erlernt, sondern ihre Anwendung muſs auch durch Uebung geläufig geworden sein. Sie sind nichts Andres, als Werkzeuge, die nur brauchbar sind, wenn man sie richtig anzufassen und sicher zu führen versteht.

Der Baumeister muſs ferner darauf hingewiesen werden, daſs die volle Schärfe, welche die abstracte Mathematik charakterisirt, in den Erfahrungs-Wissenschaften aufhört, und daſs nicht nur die constanten Factoren, sondern auch die Gesetze, die man aus den Erscheinungen ableitet, mehr oder weniger unsicher sind. Er muſs daher sich stets Rechenschaft geben, welchen Grad der Wahrscheinlichkeit das Resultat jeder Untersuchung hat. Bei dieser Auffassung des Sachverhältnisses stellt sich die beliebte Redensart, daſs gewisse Ansichten theoretisch richtig, practisch aber falsch sind, als ganz sinnlos heraus. Jede neue Erfahrung schlieſst sich entweder den bereits gefundenen Gesetzen an und bestätigt sie, oder sie widerspricht ihnen und zeigt dadurch, daſs jene Gesetze noch der Berichtigung bedürfen.

Die vorstehend angedeutete Ausdehnung der theoretischen Studien wird ohne Zweifel manchen Widerspruch finden, namentlich in sofern man hin und wieder noch an der Ansicht festhält, daſs die verschiedensten Arten der Technik, die das Wort Baukunst umfaſst, nicht getrennt werden dürfen, daſs also vom Wasserbaumeister dieselben Kenntnisse und Geschicklichkeiten gefordert werden müssen, wie vom Hochbaumeister. Wenn in diesem Falle sogar noch vorzugsweise auf die künstlerische Richtung Gewicht gelegt wird, so werden natürlich die Anforderungen in Betreff der mathematischen Ausbildung auf das Minimum beschränkt bleiben müssen. Auſserdem wird man den obigen Vorschlägen auch die Erfahrung entgegenstellen, daſs die sehr groſse Mehrzahl der Wasserbaumeister selbst von denjenigen theoretischen Kenntnissen, die sie sich während der Studienzeit angeeignet hatten, niemals Gebrauch macht, und daſs die Wenigen, die hierzu

Neigung und Gelegenheit haben, durch eigne Uebung die Anwendung erlernen. Abgesehn von der Geringfügigkeit der auf diese Weise wirklich erreichten Erfolge, darf man wohl fordern, dafs bei der Ausbildung für den spätern Beruf der Unterricht auf die Benutzung des Erlernten gerichtet, und Jeder in den Stand gesetzt werden mufs, seine Kenntnisse unmittelbar und ohne vorhergehende besondere Uebung zu verwerthen, wie dieses beim Hochbau auch wirklich zu geschehn pflegt. Genügt daher die Studienzeit nicht für die theoretischen Lehrgegenstände in der gewöhnlichen Ausdehnung und zugleich für die nöthige Uebung derselben, so schliefse man sie früher ab, aber sorge dafür, dafs das Erlernte vorkommenden Falls wirklich gebraucht werden kann. Ein Nachtheil ist hierbei nicht zu besorgen, weil für die grofse Mehrzahl der weitere Vortrag doch überflüssig ist, und die Wenigen, die ihn vielleicht vermissen, durch Privatstudien ihn leichter nachholen werden, als jene Uebungen, die im ersten Falle ihnen fremde geblieben waren.

Diese Andeutungen beziehn sich vorzugsweise auf die höhere Analysis und auf die Mechanik. Man bemerkt oft, dafs junge Leute unmittelbar nach Beendigung ihrer Studien manche Integrationen mit Sicherheit auszuführen verstehn, dafs aber die Berechnung eines Zahlenbeispiels nach den gefundenen Resultaten sehr grofse und nicht selten sogar unüberwindliche Schwierigkeiten macht. Es fehlt nicht nur an Uebung und Sicherheit im gewöhnlichen Gebrauche der Logarithmen-Tafeln, sondern die Benutzung derselben zur Berechnung mancher Functionen, zu denen die Integration führt, wie etwa eines natürlichen Logarithmen, oder eines Bogens, der durch eine trigonometrische Linie gegeben ist, scheint meist ganz unbekannt zu sein. Von solchen mathematischen Studien ist augenscheinlich für den spätern Dienst und für die Förderung der Wissenschaft nichts zu erwarten. Hat man eine Formel vergessen, so kann man sie im Hefte oder im Lehrbuche immer leicht wiederfinden, wenn aber ihre Be-

deutung nie klar gewesen ist, so bleibt ihre Benutzung unmöglich.

Die Beschränkung des Vortrages auf die wichtigsten und am häufigsten zur Anwendung kommenden Sätze rechtfertigt sich auch in sofern, als in den seltenen Fällen, wo vielleicht eine schwierigere Integrations-Methode benutzt werden könnte, die Resultate noch in andrer Art, wie etwa durch Auflösung in Reihen oder durch mechanische Quadratur, wenn auch meist etwas mühsamer, doch in beliebiger Schärfe dargestellt werden können. Der ganze Unterricht wird aber wesentlich an Interesse gewinnen, wenn er immer auf die Anwendung hinweist, besonders aber, wenn er auch mit einigen wirklichen Beobachtungen und Messungen und mit der Untersuchung der dabei gefundenen Resultate verbunden wird. Hierdurch gelangt der Zuhörer zu der Einsicht, dafs seine mathematischen Studien einen reellen Zweck haben und sich nicht allein auf die bevorstehenden Prüfungen beziehn.

Noch in andrer Weise ist eine wesentliche Abkürzung des theoretischen Unterrichts nicht nur zulässig, sondern sogar dringend geboten. Die Herleitung der Lehrsätze der Mechanik auf elementärem Wege beruht genau auf denselben Anschauungen, die der höheren Analysis zum Grunde liegen, auch ist sie keineswegs verständlicher, als die Methoden der letzteren sind, vielmehr gehn diese von den einfachsten Vorstellungen aus, und führen auf dem kürzesten Wege zum Ziele. Wenn daher in den spätern Studien, wozu jeder Baumeister verpflichtet ist, dieselben Sätze, die er mit elementärer Herleitung bereits erlernt hatte, nunmehr wieder analytisch entwickelt und in dieser Weise zum zweiten male erlernt werden, so wird der erste Unterricht augenscheinlich ganz überflüssig. Der Grund, weshalb man von dieser zweimaligen Behandlung desselben Gegenstandes sich nicht lossagen mag, beruht wieder auf der Vorstellung, dafs die Differenzial- und Integral-Rechnung nicht anders, als in der ganzen üblichen Ausdehnung vorgetragen werden dürfen. Hier-

zu ist aber um so weniger Veranlassung, als schliefslich doch eine willkürliche Grenze gesetzt werden mufs. Es würde auch nichts hindern, den Vortrag über Analysis mit dem über Mechanik in der Art zu verbinden, dafs der letzte (wie Poisson wirklich gethan hat) mit der Herleitung derjenigen Sätze der Analysis beginnt, auf welche im betreffenden Cursus Bezug genommen wird. Hierdurch fiele auch die oft vorkommende Schwierigkeit von selbst fort, dafs in der Mechanik einzelne analytische Sätze benutzt werden müssen, die der Schüler noch nicht kennt, weil beide Disciplinen gleichzeitig vorgetragen werden.

Endlich wäre in Betreff der Uebung im Zahlenrechnen noch daran zu erinnern, dafs man sich des Maafses der erreichbaren Schärfe stets bewufst bleiben mufs, und dafs kein reeller Grund denkbar ist, weshalb die Rechnung mit viel gröfserer Schärfe geführt werden sollte, als das Resültat haben kann. Der Baumeister wird niemals im eigentlichen Dienste, und nur überaus selten, wenn er um die Förderung der Wissenschaft sich bemüht, Beobachtungen oder Messungen machen, in welchen die Zahlenwerthe bis auf den hunderttausendsten Theil sicher sind. Fünfstellige Logarithmen-Tafeln sind also für den gewöhnlichen Gebrauch und beim Unterricht vollkommen genügend. Dieselben gewähren die grofse Erleichterung, dafs man mit sehr seltenen Ausnahmen die gesuchten Logarithmen oder Zahlen unmittelbar ablesen kann, indem die geringen Differenzen sich von selbst ergeben und leicht hinzuzufügen oder abzuziehn sind. Die Rechnung wird also vergleichungsweise zur Anwendung siebenstelliger Tafeln in hohem Grade abgekürzt, oder die Durchführung von Zahlenbeispielen erfordert einen viel geringeren Zeitaufwand. In den meisten Fällen, und namentlich wenn Erfahrungs-Coefficienten benutzt werden, genügen selbst vierstellige Tafeln und der Englische Ingenieur bedient sich sogar gewöhnlich nur des Rechenschiebers (slide-rule) der noch weniger genau ist. Das Resultat, zu dem er aber mit Hülfe desselben

in der kürzesten Zeit gelangt, liegt gemeinhin der Wahrheit näher, als wenn jemand, dem alle Uebung fehlt, mit siebenstelligen Logarithmen zu rechnen versucht. Doch selbst diese sieben Stellen genügen manchem practischen Baumeister noch nicht. Um seinen Arbeiten den Schein einer grofsen Genauigkeit zu geben, läfst er zuweilen einzelne Zahlen auf ein Dutzend Decimalstellen und wohl noch schärfer berechnen. Der Mangel an mathematischer Bildung giebt sich, wie ich einst einen bewährten Physiker sagen hörte, durch nichts so auffallend zu erkennen, als durch die maafslose Schärfe im Zahlenrechnen.

Diese Aeufserungen über theoretische Studien und über den Nutzen derselben sind nicht nur in sich begründet, sondern werden auch durch die grofsen Erfolge bestätigt, die in andern Erfahrungs-Wissenschaften durch sorgfältige Behandlung genauer Beobachtungen erreicht sind. In manchen Bildungs-Anstalten für Ingenieure hat die bezeichnete Richtung bereits Eingang gefunden, da dieses jedoch noch keineswegs allgemein geschehn ist, vielmehr in neuerer Zeit hin und wieder sogar Rückschritte gethan sind und der Gegensatz zwischen Theorie und Praxis immer schroffer sich gestaltet, so habe ich es für Pflicht gehalten, ohne Beschönigung die Mifsstände zu bezeichnen, die eine gedeihliche Ausbildung der Wasserbaukunst so wesentlich erschweren und fast unmöglich machen.

Berlin, 1862.

G. Hagen.

Inhalts-Verzeichnifs

des ersten Bandes.

Abschnitt I.

Allgemeine Erscheinungen im Meere.

		Seite
§. 1.	Ueber Wellen im Allgemeinen	3
§. 2.	Wellen auf Wasserflächen von unendlicher Tiefe	23
§. 3.	Wellen auf Wasserflächen von geringer, aber constanter Tiefe	47
§. 4.	Wellen auf Wasserflächen von gröfserer, jedoch endlicher und constanter Tiefe	71
§. 5.	Wellen auf ansteigendem Grunde	79
§. 6.	Fluth und Ebbe im offenen Meere	104
§. 7.	Fluth und Ebbe in der Ostsee	136
§. 8.	Fluth und Ebbe in den Strom-Mündungen	154
§. 9.	Wasserstände der Ostsee	170
§. 10.	Meeres-Strömungen	185
§. 11.	Meerestiefen, Salzgehalt und erdige Beimengungen des Seewassers	196
§. 12.	Veränderungen der Meeres-Ufer	212

Abschnitt II.

Eindeichungen am Meere.

§. 13.	See-Deiche	247
§. 14.	See-Marschen	258
§. 15.	Ausführung der Deiche	273
§. 16.	Sicherung der Deiche	288
§. 17.	Schliefsung der Deichbrüche	304
§. 18.	Siele	315
§. 19.	Die Entwässerung des Rheinlandes durch die Siele bei Catwijk	349

Erster Abschnitt.

Allgemeine Erscheinungen im Meere.

§. 1.

Ueber Wellen im Allgemeinen.

Die Bauten am Meere haben wesentlich denselben Zweck, wie die Strombauten. Man beabsichtigt durch sie theils die Ufer zu schützen, oder auch wohl neues Vorland zu gewinnen, theils aber auch die Mündungen der Ströme, Flüsse und zuweilen sogar der Bäche offen zu erhalten, damit die Vorfluth des Binnenlandes nicht gestört wird. Vorzugsweise beziehn sie sich indessen auf die Sicherstellung und Erleichterung der Schiffahrt.

Einen wesentlichen Unterschied gegen die Strombauten bedingt schon die letzte Rücksicht, insofern der viel gröfsere Tiefgang der Seeschiffe auch viel schwierigere Anlagen und Ausführungen fordert. Aufserdem aber treten im Meere noch gewisse Erscheinungen und manche Eigenthümlichkeiten ein, die ganz verschiedene Anordnungen und Constructionen fordern. Zu diesen gehört vorzugsweise der Wellenschlag, dessen zerstörenden Wirkungen man durch die äufsersten Mittel der Kunst kaum zu begegnen im Stande ist, ferner der Wasserwechsel der Fluth und Ebbe, der nicht nur auf die Schiffahrt, sondern auch auf die Ufer und namentlich auf die Deiche von wesentlichem Einflusse ist. Sodann kommen die Strömungen in Betracht, die theils von der Fluth und theils von andern Ursachen herrühren. Sie wirken gleichfalls wieder meist zerstörend, während sie in mancher Beziehung schon an sich von Nutzen sind und bei angemessner Anordnung der Werke die Schiffahrt erleichtern.

Eine Rücksicht, die beim Strombau mit der gröfsten Aufmerksamkeit stets beachtet werden mufs, nämlich die Erhaltung der nöthigen Profilweite, sowol für das kleine, als auch vorzugsweise für das hohe Wasser, fällt bei den Bauten am Meere ganz fort, indem

die Profile hier an sich übermäfsig grofs und vergleichungsweise zu dem Bedürfnisse sogar unbegrenzt sind. Ferner kommt die Beschaffenheit des Wassers in Betracht. Wegen des starken Salzgehaltes gedeihen am Meeresufer keine Strauchpflanzungen, und nur gewisse Gräser sind hier noch vortheilhaft zu verwenden, während andre Pflanzen in den Buchten den Schlickboden überziehn, wenn derselbe auch bei jeder Fluth mehrere Fufs hoch inundirt wird. Endlich sind bei manchen Anlagen die im Wasser schwebenden erdigen Theilchen von grofser Wichtigkeit.

Die erwähnten Erscheinungen und Eigenthümlichkeiten finden ihre Grenze nicht an den Stellen, wo die Ströme sich in das offene Meer ergiefsen, vielmehr zeigen sie sich oft, wenn auch nur in geringerem Maafse, noch viele Meilen weit stromaufwärts. Sie werden nach und nach immer unmerklicher, bis sie endlich an gewissen Stellen ganz verschwinden. Diese Stellen sind aber nicht constant. Eine höhere Fluth dringt im Strome weiter aufwärts, als eine schwächere. Das salzige Wasser des Meeres wird bei starker Entwässerung aus dem Binnenlande weiter herabgedrängt. Deshalb schliefst der eigentliche Seebau auch nicht an bestimmter Stelle ab, sondern geht vielmehr allmählig in den Strombau über. Man nimmt gewöhnlich an, die Grenze zwischen beiden befinde sich da, wo die Rückströmung der Fluth aufhört.

Die Wirkungen der benannten Erscheinungen sind im Allgemeinen nur zerstörend. Am offenen Meere, also mit Ausschlufs der Buchten und derjenigen Wasserflächen, die durch davorliegende Untiefen und Inselreihen geschützt sind, befinden sich die Ufer überall im Abbruche. Ein felsiges Ufer, und namentlich wenn es aus fester Gebirgsart besteht, erhält sich freilich lange Zeit hindurch, ohne ein Zurückweichen bemerken zu lassen, aber dafs die mechanischen und wahrscheinlich auch die chemischen Kräfte des Meerwassers darauf einwirken, ergiebt sich deutlich, wenn man solches Ufer näher betrachtet. Alle vorragenden Theile, die am stärksten angegriffen werden, verschwinden, und die Oberfläche des harten Gesteines nimmt jedesmal eine auffallende Glätte an. Ist das Gestein dagegen weich, also etwa Kreide, so lösen sich von Zeit zu Zeit grofse Massen und stürzen herab. Diese werden von den Wellen hin und hergetrieben, und bald so fein zerrieben, dafs sie im Wasser schweben. In diesem Zustande entfernen sie sich weit

vom Ufer und versinken bei ruhiger Witterung in die Tiefe, von wo sie nie wieder zum Vorschein kommen. Dasselbe geschieht mit dem Thon. Nur der Sand und Kies, obwohl er bei der immer wiederholten Bewegung sich abschleift, und dadurch jedes Körnchen mit der Zeit sich verkleinert, bleibt in der Nähe des Ufers. Wellen und Strömungen treiben ihn am Ufer fort, und wenn er auch auf dessen Böschung herabsinkt, so kann er doch im Wasser sich nicht schwebend erhalten, und dieses sichert ihn vor dem Versinken in die Tiefe. Er bleibt daher der Einwirkung der Wellen ausgesetzt, und unter Umständen kann er wieder über das Wasser gehoben und vielleicht sogar durch die Winde weit landwärts geführt werden. Nichts desto weniger sind hohe sandige Ufer mehr als andre einer schnellen Zerstörung ausgesetzt.

In den Meeresbuchten oder an geschützten Stellen ist das Verhältnifs ein ganz andres. Hier bildet sich häufig von selbst ein neues Vorland oder die Ufer rücken vor, und es ist gemeinhin sehr leicht, an solchen Stellen die Aufschlickung künstlich zu befördern und dadurch grofse fruchtbare Flächen Landes dem Meere abzugewinnen.

Die erwähnten grofsartigen Erscheinungen am Meere, nämlich der Wellenschlag, der Fluthwechsel und die Strömungen sind auch für die Schiffahrt und für den Hafenbau von der äufsersten Bedeutung. Sie sind vorzugsweise zu berücksichtigen, wenn man die Hafenmündung und das von der tiefen See aus dahin führende Fahrwasser offen erhalten und dasselbe zugleich für die einlaufenden Schiffe bequem einrichten will. Aufserdem dürfen sie aber auch bei der innern Einrichtung der Häfen und bei der Darstellung der Wasserverbindungen mit dem Binnenlande nicht unbeachtet bleiben. Indem ihr Einflufs in allen Theilen des Seebaues sich als überwiegend herausstellt, so ist es gewifs nothwendig, mit einer ausführlichen Erörterung dieser Erscheinungen zu beginnen. Dieses wird um so mehr sich rechtfertigen, als die Schriften über See- und Hafenbau hierüber meist nur vereinzelte Thatsachen enthalten, die den innern Zusammenhang der verschiedenartigen Wirkungen nicht klar erkennen lassen, und sonach den Wasserbaumeister nicht in den Stand setzen, in jedem besondern Falle die Mittel passend zu wählen, und sich ein sicheres Urtheil darüber zu bilden, was nach den localen Verhältnissen überhaupt zu erreichen ist. Die vielfachen

Mifsgriffe, die in dieser Beziehung vorgekommen sind, und sich noch dauernd wiederholen, werden es gewifs rechtfertigen, dafs die Aufmerksamkeit des Baumeisters hierauf gelenkt und derselbe veranlafst wird, durch sorgfältige Beobachtung und Zusammenstellung der Thatsachen, die mannigfaltigen und grofsen Zweifel, die namentlich in Bezug auf die Wirkung der Wellen zur Zeit noch bestehn, nach und nach zu beseitigen.

Ich gehe zunächst zur Untersuchung der Wellen über. Die Erscheinung ist im Allgemeinen bekannt. Schon auf kleineren Wasserflächen, auf Binnenseen, Weihern und Canälen bemerkt man, wie bei stärkerem Winde langgezogene Erhebungen des Wassers in gewissen, nahe gleichen Abständen sich bilden und in der Richtung des Windes fortlaufen, während diese erhöhten Kämme oder Rücken, sowie auch die zwischenliegenden Thäler eine Richtung haben, welche die des Windes unter rechtem Winkel schneidet. Im Meere und besonders in grofsen Meeren, wie im Atlantischen und Stillen Ocean bildet sich die Erscheinung zur Zeit des Sturmes viel grofsartiger aus, die Kämme der Wellen erheben sich bis 30 Fufs und nach einzelnen Beobachtungen sogar noch höher über die zwischen liegenden Einsenkungen, und bewegen sich mit Geschwindigkeiten bis zu 6 und 7 deutschen Meilen in der Stunde, also ungefähr eben so schnell, wie Personenzüge auf Eisenbahnen. Wer zum ersten Male auf einer Seereise diese anstürmenden Wasserberge sieht, kann sich der Besorgnifs nicht erwehren, dafs sie beim Zusammenstofse mit dem Schiffe dasselbe zertrümmern müssen, und gewifs würde dieses geschehn, wenn die Wassermasse selbst die Geschwindigkeit der Wellen besäfse. Bei Wellen, die auf den Strand auflaufen, ist dieses in der That der Fall, und ein Schiff, welches hier auf dem Grunde steht, wird auch, wenn die Wellen nicht vorher schon wesentlich geschwächt waren, meist in kurzer Zeit zerschellt. Das Schiff dagegen, das auf tiefem Wasser schwimmt, empfängt von der anlaufenden Welle nur einen sehr mäfsigen Stofs, und in einem Boote empfindet man selbst diesen nicht. Die Wassermasse hat daher nicht die Geschwindigkeit, mit der die Welle sich bewegt. Dieses ergiebt sich auch schon daraus, dafs man vor dem Ufer, gegen welches die Wellen anlaufen, das Wasser keineswegs in dem Maafse ansteigen sieht, wie es steigen müfste, wenn jede Welle wirklich die ihr entsprechende Wassermasse neu hinzuführte.

Ein andrer Umstand verdient gleichfalls Beachtung. Wenn im offenen Meere ein starker Wellenschlag erregt ist, so dauert derselbe auch nach dem Aufhören des Sturmes noch lange, und im Ocean bis 24 Stunden fort. Hieraus ergiebt sich, dafs bei der Wellenbewegung in tiefem Wasser die lebendige Kraft nur in geringem Maafse zerstört wird, dafs also die Reibung nicht bedeutend sein kann. Die Bewegung mufs also in der Art erfolgen, dafs die sich berührenden einzelnen Wassertheilchen sich nicht von einander trennen, vielmehr dauernd in Berührung bleiben.

Bei aufmerksamer Betrachtung der Erscheinung auf kleineren Wasserflächen kann man schon erkennen, welche Bewegungen dabei wirklich eintreten. Die Theilchen, welche die Oberfläche bilden, heben und senken sich beim Vorübergange jeder Welle. Kleine darauf schwimmende Körper, wie etwa Holzstückchen und selbst Schaummassen, die jedoch nur wenig vortreten dürfen, um der unmittelbaren Einwirkung des Windes nicht zu stark ausgesetzt zu sein, sieht man keineswegs mit der Geschwindigkeit der Wellen forttreiben, vielmehr bleiben sie nahe an derselben Stelle, wo sie ursprünglich waren, oder sie bewegen sich doch nur sehr langsam in der Richtung des Windes fort. Dagegen bemerkt man allerdings, dafs sie in dieser Richtung gewisse und zwar abwechselnd entgegengesetzte Bewegungen annehmen. Sobald das Holzstückchen vom Scheitel einer Welle getroffen wird, so folgt es ihrer Richtung, sobald es sich aber im Thale zwischen zwei Wellen befindet, so schwimmt es wieder zurück. Die Wassertheilchen mit den darin schwebenden fremdartigen Körpern bewegen sich also, wenigstens an der Oberfläche des Wassers, beim Vorübergange jeder Welle abwechselnd auf und ab, und zugleich hin und her, und kommen wieder an ihre frühere Stelle zurück. Hieraus folgt, dafs sie gewisse geschlossene Bahnen durchlaufen, und zwar ist in den obern Scheiteln derselben ihre Richtung mit der der Wellen übereinstimmend, in den untern aber entgegengesetzt.

Viel deutlicher ergiebt sich dieses, und nicht nur für die in der Oberfläche befindlichen, sondern auch für die weiter abwärts belegenen Wasserschichten, wenn man von einem gröfseren, vor Anker liegenden Schiffe aus, das von dem mäfsigen Wellenschlage wenig oder gar nicht afficirt wird, einen leicht erkennbaren Körper herabwirft, dessen specifisches Gewicht wenig gröfser, als der des Meer-

wassers ist, der also langsam in die Tiefe sinkt. Hierzu eignet sich schon ein leinenes Tuch oder ein Bogen Papier, den man durch Rollen zwischen den Händen in einen kugelförmigen Ballen umgeformt, und ihn vorher in Wasser getaucht und so vollständig getränkt hat, dafs er ganz durchnäfst ist, und keine Luft sich darin befindet. Wirft man denselben herab, so taucht er sogleich vollständig unter, und indem er nunmehr sich ausbreitet, so versinkt er langsam. Bei klarem Wasser kann man ihn alsdann mehrere Minuten hindurch verfolgen und seine horizontalen Bewegungen deutlich wahrnehmen. Man bemerkt aber, dafs jedesmal, so oft der obere Scheitel einer Welle darüber geht, er der Bewegung desselben folgt, und später wieder zurücktreibt. Dieselbe Bewegung, welche die Wassertheilchen der Oberfläche haben, erfolgt daher gleichzeitig auch in den darunter befindlichen Schichten.

Um Mifsverständnissen zu begegnen mufs darauf aufmerksam gemacht werden, dafs diese rotirende Bewegung nicht etwa gröfsere Wassermassen umfafst, die sich um eine gemeinschaftliche Achse drehen. In solchem Falle würden sehr scharfe Uebergänge unvermeidlich sein, deren Folge wieder eine starke Reibung wäre. In der Vertikal-Ebene, in der diese Bewegungen erfolgen, schwingt vielmehr jedes einzelne Wassertheilchen um eine besondere Achse, und wenn man vorläufig annimmt, dafs die Bahnen Kreise sind, so giebt die sogenannte Wellenmaschine, die in physikalischen Cabineten häufig gefunden wird, ein richtiges und anschauliches Bild von den Bewegungen der in der Oberfläche befindlichen einzelnen Wassertheilchen. Bei dieser Maschine sind nach Figur 1 in einer Horizontal-Ebene eine grofse Anzahl von Achsen a, a ... angebracht, die durch einen umgeschlungenen Faden sämmtlich in übereinstimmende rotirende Bewegung versetzt werden, so dafs sie alle in gleicher Zeit ihre Umdrehungen vollenden. An dem Ende einer jeden von diesen Achsen ist ein Stäbchen befestigt, dessen äufseres Ende durch einen Knopf c besonders markirt ist. Diese Stäbchen oder Radien haben gleiche Länge, so dafs der Abstand ac bei allen gleich grofs ist. Die Achsen werden nun gegen einander so verstellt, dafs die Neigung des Stabes gegen den Horizont bei jeder folgenden Achse um einen gewissen Winkel (in der Figur um 30 Grade) gröfser wird. Die Knöpfe bilden alsdann schon im Stande der Ruhe eine gestreckte Cycloide, und diese Form erhält sich auch

bei der gleichmäfsigen Drehung aller Achsen, aber der obere Scheitel der Cycloide bleibt alsdann nicht an der Stelle, wo er anfangs war, sondern bewegt sich, während ein Stäbchen nach dem andern die vertikale Stellung annimmt, in derselben Richtung, in der die Drehung erfolgt, und nach einer vollständigen Umdrehung der Achsen hat der Scheitel der Welle die Länge derselben durchlaufen.

Denkt man nun in geringer Entfernung unter diesen ersten Achsen eine zweite Reihe derselben, in der die Stäbchen eben so gerichtet sind, wie die darüber befindlichen, jedoch eine etwas geringere Länge haben, so überzeugt man sich leicht, dafs dieselben Knöpfe sowohl zur Seite, als auch abwärts immer denselben Knöpfen benachbart bleiben. Wenn also die Entfernungen der Achsen in jeder Reihe, so wie auch die Entfernungen der Reihen von einander unendlich klein gedacht werden, so ergiebt sich, dafs die einzelnen Wassertheilchen, die sich ursprünglich berührten, auch während der übereinstimmenden Drehung aller Achsen fortwährend mit einander in Berührung bleiben und kein fremdes Theilchen dazwischen treten kann.

Es giebt noch eine andere bekannte Erscheinung, welche eine überraschende Aehnlichkeit mit dem Wellenschlage der See zeigt, und die auch wesentlich mit diesem übereinstimmt. Ein Getreidefeld, in welchem die Aehren sich bereits so weit ausgebildet haben, dafs sie bedeutend schwer geworden sind, während die Halme die nöthige Biegsamkeit und Elasticität noch besitzen, schlägt im Winde Wellen, wie das Wasser. Die Kämme oder Rücken der Wellen sind normal gegen die Richtung des Windes gekehrt, ihre Bewegung stimmt aber mit der letzteren überein. Es wiederholen sich daher hier sehr vollständig die Eigenthümlichkeiten der Wasserwellen, und augenscheinlich bleibt in diesem Falle jeder Halm mit seiner Aehre unverändert an seiner ursprünglichen Stelle. Die Erscheinung giebt sich hier in allen Einzelheiten leicht zu erkennen. Der Halm schwankt hin und her, und indem er sich neigt, so senkt sich die Aehre, die sogar durch die starke Krümmung des oberen Endes des Halmes besonders tief herabsinkt. Der Schwerpunkt der Aehre beschreibt also wieder eine geschlossne Bahn. Die Pflanzen stehn indessen so nahe neben einander, dafs nicht eine einzelne unabhängig von den benachbarten ihre Bewegungen machen kann, vielmehr müssen diese Bewegungen übereinstimmen, und so geschieht

es, dafs jede folgende Aehre (in der Richtung des Windes gezählt) jeden Punkt in ihrer Bahn etwas später einnimmt, als die vorhergehende den entsprechenden in der übrigen. Es ergiebt sich hieraus, dafs die Bewegungen der einzelnen Theilchen während des Wellenschlages, welche schon beim Wasser durch gewisse Wahrnehmungen angedeutet wurden, bei der letzterwähnten Erscheinung ganz unverkennbar wirklich eintreten.

Diese Wellen eines Getreidefeldes führen noch zu einer andern Anschauungsart der Wellenbewegung. Man betrachte die einzelnen Wassertheilchen, die vor dem Eintritt der Bewegung sich lothrecht über einander befinden. Dieselben bilden einen Wasserfaden, der ursprünglich lothrecht steht. Beim Wellenschlage mufs derselbe jedenfalls gewisse Bewegungen machen, und sein oberes Ende mufs sich abwechselnd erheben und senken. Dieses geschieht, wenn der Faden ähnlich dem Halme sich neigt und wieder lothrecht stellt, und dieser Fall entspricht der schon oben gemachten Annahme, dafs die Bahnen, welche die einzelnen Wassertheilchen der Oberfläche durchlaufen, die gröfsten Dimensionen haben, und weiter abwärts immer kleiner werden, bis sie endlich sich in Punkte verwandeln, wobei also die Bewegung ganz aufhört. Die Wellen können aber auch dadurch entstehn, dafs diese Fäden, ohne ihre lothrechte Stellung aufzugeben, hin und hergeschoben und dabei abwechselnd zusammengedrängt und wieder von einander entfernt werden, wobei sie sich verlängern und verkürzen müssen. Endlich ist noch der dritte Fall denkbar, dafs nämlich beide Arten der Bewegung sich mit einander verbinden, der Fufs des Fadens also hin und hergeschoben und zugleich der Faden vor und zurück geneigt wird. Aus dem Folgenden wird sich ergeben, dafs alle drei Bewegungs-Arten wirklich vorkommen, und dafs vorzugsweise die Wassertiefe entscheidet, welche von ihnen jedesmal eintreten mufs.

Diese Betrachtung der Wasserfäden erklärt leicht eine sehr interessante und für den Hafenbau wichtige Erscheinung. Wenn nämlich die dem Wellenschlage ausgesetzte Wassermasse durch eine senkrechte Wand begrenzt wird, gegen welche die Wellen in normaler Richtung anlaufen, so werden die der Wand am nächsten stehenden Wasserfäden, welche den Impuls zu ihrer Bewegung von den vorhergehenden, noch frei ausschwingenden Fäden erhalten, sich weder verschieben noch neigen können. Die Pressung, die sie er-

fahren, kann sich also nur in der Längenausdehnung äufsern. Dieses geschieht wirklich, und zwar wird die Höhe der Welle neben einer solchen Wand gröfser, als sie im freien Wasser war. Die starke Erhebung des Wasserspiegels verbunden mit dem Aufhören der fortschreitenden Bewegung ist aber Veranlassung zum Entstehn einer neuen Welle, oder bei fortgesetztem Anlaufen von Wellen zur Bildung eines neuen Wellensystems. Die Bewegung desselben kann aber, da jeder Wellenrücken in seiner ganzen Ausdehnung sich vor der Wand gleichzeitig erhebt, nur rückwärts und zwar wieder normal gegen die Wand erfolgen. Auch dieses geschieht wirklich. Läfst man eine Welle nach der andern normal gegen eine senkrechte Wand schlagen, so läuft jede einzelne dieser Wellen wieder in entgegengesetzter Richtung zurück, und zwar mit gleicher Geschwindigkeit und nahe in derselben Höhe, in der sie aufgelaufen war. Dasselbe geschieht auch, wenn die Wand nicht lothrecht, sondern gegen den Horizont geneigt ist, doch tritt in diesem Falle eine starke und augenfällige Schwächung der Wellen ein.

Wenn nun diese beiden Wellensysteme, die in direct entgegengesetzten Richtungen sich bewegen, gleichzeitig in einem gröfsern oder kleinern Wasserbassin vorkommen, so kann man sehr deutlich beide Arten von Wellen unterscheiden, die sich keineswegs gegenseitig zerstören, vielmehr ganz unabhängig von einander ihre verschiedenen Wege verfolgen. Der einzelne Wasserfaden wird in diesem Falle von beiden Seiten durch die nächststehenden afficirt, und die Schwingung, die er macht, ist die Componente aus den beiden Bewegungen, zu denen der Druck des einen und des andern benachbarten Fadens ihn veranlafst. Sind beide Pressungen gleich grofs und positiv, was in dem Punkte geschieht, wo die obern Scheitel der beiderseitigen Wellen zusammentreffen, so macht der Faden gar keine Seitenbewegung, er verlängert sich nur, oder die Oberfläche erhebt sich, und zwar höher, als bei der einzelnen Welle, weil der beiderseitige Druck die Seitenbewegung vollständig unterbricht. Diese Erhebung ist aber in gleicher Weise, wie der Kamm der Welle neben der senkrechten Wand, Veranlassung zu einer neuen Wellenbildung, die in diesem Falle gleichmäfsig nach beiden Seiten erfolgt. Das Umgekehrte geschieht, wenn die untern Scheitel oder die tiefsten Stellen zweier Wellen zusammentreffen. Die beiderseitigen Pressungen sind alsdann negativ und die Senkung

wird tiefer, als bei der einzelnen Welle. Nach dem momentanen Stillstande dringt das Wasser von der einen, wie von der andern Seite hinzu. An allen zwischenliegenden Stellen wird die Bewegung der Fäden nicht unterbrochen, und da diese gleichzeitig von beiden Systemen afficirt werden, so erfolgt ihre Bewegung in der Art, dafs sie beiden Systemen sich anschliefst. Die in beiden Richtungen laufenden Wellen durchdringen sich also, ohne sich gegenseitig zu zerstören, oder auch nur zu behindern.

Ist die senkrechte Wand, gegen welche die Wellen anlaufen, nicht normal, sondern schräge gegen die Richtung der Bewegung der letzteren gekehrt, so trifft die Pressung der nächst stehenden Wasserfäden gleichfalls schräge auf die Wand. Der Theil des Drucks, der parallel zur Wand gerichtet ist, wirkt in gleicher Weise fort, als wenn die Wand nicht vorhanden wäre, der darauf senkrecht treffende Theil dagegen bewirkt wieder das Zurücklaufen der Welle. Die Welle wird also, wie ein elastischer Körper, unter demselben Winkel, den die Richtung ihrer Bewegung mit der Wand macht, von der letzteren zurückgeworfen. Diese Uebereinstimmung in dem Verhalten der Wellen und elastischer Körper kann nicht befremden, insofern in beiden Erscheinungen die mechanischen Verhältnisse genau dieselben sind. Legt man elastische Kugeln von gleicher Gröfse in einer Reihe hintereinander, so dafs sie sich unmittelbar berühren, und die Berührungspunkte sich in einer geraden Linie befinden, so überträgt sich der in gleicher Richtung auf die erste vorübergehend ausgeübte Druck oder Stofs auf alle bis zur letzten. Sobald irgend eine dieser Kugeln den Stofs empfängt, so wird sie zusammengedrückt, da sie wegen ihrer geschlossenen Lage nicht ausweichen kann. Diese Formveränderung, der die Elasticität entgegenwirkt, giebt aber Veranlassung, dafs sie auf die nächstfolgende Kugel in gleicher Weise einwirkt, wie sie von der vorhergehenden afficirt wurde. Genau dasselbe geschieht mit einer Reihe von Wasserfäden, die in gerader Linie hinter einander stehn und nicht seitwärts ausweichen können. Wenn ein vorübergehender Druck auf den ersten Faden ausgeübt wird, so kann der Effect nur darin bestehn, dafs dieser Faden, so wie später jeder folgende, dadurch ausweicht, dafs er sich verlängert oder sein oberes Ende sich hebt. Diese Erhebung ist aber wieder Veranlassung, dafs er auf den folgenden in gleicher Weise drückt, wie er gedrückt wurde.

Das Fortschreiten des Druckes giebt sich also durch das Fortschreiten der Welle zu erkennen. Lehnt sich die letzte elastische Kugel gegen eine Wand, die unter einem rechten Winkel die Richtung des Druckes trifft, so läuft der Druck, sobald er sich bis hierher fortgesetzt hat, wieder durch alle Kugeln zurück, und die erste wird fortgestofsen. Ist dagegen die Wand schräge gegen die Reihe elastischer Körper gerichtet, die man in diesem Falle freilich als Scheiben von unendlich geringer Dicke denken mufs, so wird der Druck oder Stofs ebenso wie von einer einzelnen dagegen laufenden Kugel unter gleichem Winkel sich rückwärts fortsetzen. Dasselbe geschieht bei den Wasserfäden, und die Uebereinstimmung beider Erscheinungen wird am auffälligsten, wenn man solche Wasserfäden voraussetzt, die sich nicht überneigen, sondern unter Beibehaltung ihrer vertikalen Stellung nur hin und hergeschoben werden.

Dafs die Wellen in dieser Weise wirklich zurückgeworfen werden, oder wie elastische Körper oder Lichtstrahlen reflectiren, ergiebt sich aus manchen Erscheinungen im Grofsen. So kommt es vor, dafs in gewissen Seehäfen beim Einlaufen der Wellen diese an einzelnen Stellen sich so sehr concentriren und verstärken, dafs daselbst kein Schiff liegen kann, und wenn man die Form des Hafens näher prüft, so ergiebt sich jedesmal, dafs von verschiedenen Ufereinfassungen die Wellen gerade hierher zurückgeworfen werden und daher die übermäfsige Bewegung veranlassen. Durch Versuche im Kleinen ist bei Anwendung von Wasser diese Erscheinung nicht in auffallender Weise darzustellen, wohl aber zeigt sie sich mit voller Deutlichkeit, wenn man, wie die Gebrüder Weber *) es thaten, statt des Wassers, Quecksilber anwendet. In dem einen Brennpunkte eines mit Quecksilber gefüllten elliptischen Gefäfses fielen in kurzen Zwischenzeiten einzelne Quecksilber-Tropfen herab, und diese erregten nicht nur die kreisförmigen Wellen, die man unter ähnlichen Umständen auch im Wasser sehr deutlich bemerkt, sondern die vom Rande des Gefäfses zurücklaufenden Wellen bildeten auch concentrische Kreise um den zweiten Brennpunkt, und vereinigten sich jedesmal in demselben, indem sich hier die Oberfläche sehr merklich erhob und senkte.

*) Die Wellenlehre auf Experimente gegründet, von den Brüdern E. H. Weber und W. Weber. Leipzig 1828. §. 171.

Die Erregung der Wellen erfolgt durch jede plötzliche Störung des Gleichgewichts einer ruhenden Wassermasse. Wenn ein Stein in einen Weiher geworfen wird, oder ein Tropfen in eine mit Wasser gefüllte Schaale fällt, so bilden sich nach allen Richtungen Wellen, oder es entstehn einige concentrische kreisförmige Wellen, die sich vergröfsern und immer weiter ausdehnen, bis sie endlich bei ihrer allmähligen Abschwächung sich so erniedrigen, dafs man sie nicht weiter erkennen kann. Ganz dieselbe Erscheinung tritt aber auch ein, wenn man einen vorher ins Wasser eingetauchten Körper plötzlich herauszieht. Dabei pflegen freilich immer einige Wassertropfen herabzufallen, und es bleibt daher zweifelhaft, ob die kreisförmigen Wellen, die man wieder von der Stelle ab, wo der Körper versenkt war, nach dem Rande des Gefäfses laufen sieht, vielleicht von diesen Tropfen herrühren. Der Zweifel wird indessen beseitigt, wenn man diesen Versuch mit einer Röhre anstellt, die solche Weite hat, dafs man die obere Oeffnung mit dem Daumen noch bequem schliefsen kann. Schliefst man diese zuerst und taucht alsdann die Röhre einige Zoll tief ein, so wird beim plötzlichen Aufheben des Daumens das Wasser in gleicher Weise eindringen, als wenn ein eingetauchter Körper plötzlich herausgezogen wäre. Man sieht aber in diesem Falle, dafs die kreisförmige Welle sich zuerst rings um die Glasröhre bildet und von hier nach dem Rande des Gefäfses läuft. Mittelst dieser Röhre läfst sich auch der erste Versuch, nämlich das plötzliche Eintauchen eines Körpers sehr bequem darstellen, wenn man die Röhre einige Zoll tief ins Wasser einsenkt, alsdann die obere Oeffnung schliefst und die Röhre soweit hebt, dafs ihr unterer Rand noch so eben unter der Oberfläche bleibt. Entfernt man alsdann den Daumen, so stürzt das Wasser aus der Röhre heraus, und die kreisförmige Welle läuft gleichfalls von der Röhre fort. Mag man den Versuch in der einen oder in der andern Art darstellen, so bleibt die Erscheinung dieselbe. Benutzt man ein kreisförmiges Gefäfs, und hält man die Röhre in dessen Mitte, so wird freilich die kreisförmige Welle, nachdem sie den Rand erreicht hat, wieder zurücklaufen, oder die kreisförmigen Wellen verkleinern sich und schliefsen sich endlich an die Röhren an, aber die erste Bewegung erfolgt jedesmal von der Röhre aus nach dem Rande des Gefäfses, und nie in entgegengesetzter Richtung. Die Uebereinstimmung beider Erscheinungen erklärt sich

ohne Zweifel dadurch, dafs beim plötzlichen Eintauchen die Erhebung oder der obere Scheitel der Welle gebildet wird, beim plötzlichen Herausziehn aber die Einsenkung oder der untere Scheitel. Es entsteht dabei aber niemals eine einzelne Welle, sondern stets mehrere, die einander folgen, und man sieht in beiden Fällen ganz gleiche Wellensysteme, in denen man bei der Flüchtigkeit der Erscheinung keinen Unterschied bemerken kann, die aber unverkennbar in derselben Richtung sich bewegen.

Dieselbe Ursache veranlafst ohne Zweifel zuweilen auch im Meere einzelne Wellen. Wenn durch vulkanische Ausbrüche oder durch Erdbeben das bisherige Gleichgewicht in den Wasserflächen plötzlich in grofsem Maafse gestört wird, so erheben sich Wellen, die in der Nachbarschaft Landflächen inundiren, welche unter gewöhnlichen Verhältnissen weit über dem Spiegel der See liegen, und von keiner Fluth erreicht wurden. Bei dem Erdbeben, das am 1. November 1755 Lissabon zerstörte, rollte daselbst eine 40 Fufs hohe und bei Cadix sogar eine 60 Fufs hohe Welle auf das Ufer. Ein Engländer (Namens Chase), der sich damals in Lissabon aufhielt, erzählt in einem Briefe, dafs unmittelbar nach dieser Welle das Wasser sich soweit gesenkt habe, dafs die in dem sehr tiefen Tajo ankernden Schiffe grofsentheils auf dem trocknen Flufsbette standen, dafs aber dieser ersten Welle noch zwei andere von nahe derselben Höhe folgten. In den kleinen Antillen, wo der Fluthwechsel nur wenig über 2 Fufs mifst, erhob sich das Meer 20 Fufs hoch. Dieselbe Erscheinung ist bei andern Erdbeben auch in Callao de Lima und in Chili beobachtet worden, und in dem ersten dieser Häfen sah Alexander von Humboldt bei voller Windstille plötzlich eine Reihe von 10 bis 14 Fufs hohen Wellen einlaufen, die nur durch submarine Erdbeben veranlafst sein konnten.

Gewöhnlich werden die Meereswellen durch den Wind erregt. Wenn derselbe vollkommen gleichmäfsig auf die Oberfläche des Wassers wirkte, so wäre auch der Druck, den er verursacht, auf allen Theilen derselben ganz gleich, und das Gleichgewicht könnte nicht gestört werden. Diese Bedingung wird aber niemals erfüllt, indem die Wirkung des Windes immer ungleichmäfsig ist und er nicht nur abwechselnd sich verstärkt und schwächt, sondern wegen der wirbelnden Bewegungen im Luftstrome er stets an verschiedenen und selbst an nahe belegenen Stellen in verschiedener Stärke

und in anderer Richtung auftritt. Hierdurch wird jedesmal und zwar in kürzester Zeit ein ungleichmäfsiger Druck veranlafst und das Gleichgewicht der Oberfläche aufgehoben. Sobald dieses aber auch nur in geringstem Maafse gestört ist, und die kleinsten Wellen sich gebildet haben, so verstärkt der Wind dieselben sehr schnell und theilt ihnen die Richtung der Bewegung mit, die er selbst hat. Man nehme an, die erste Störung des Gleichgewichts sei dadurch veranlafst, dafs eine Stelle der Oberfläche plötzlich stärker gedrückt wird, als die umgebenden; die Wirkung wird alsdann dieselbe sein, als wenn ein Körper auf jene Stelle herabfiele, und es werden schwache kreisförmige Wellen sich rings um sie bilden, die nach allen Richtungen sich verbreiten. Dieser gleichmäfsigen Verbreitung tritt aber die Wirkung des Windes entgegen. Diejenigen Theile der Kreiswellen, die gegen den Wind laufen, werden von ihm aufgehalten, er drückt in der vordern Böschung die Wassertheilchen zurück, die im Aufsteigen begriffen sind. Diejenigen Wellentheile, deren Bewegung normal gegen die des Windes gerichtet ist, werden von ihm gar nicht afficirt. Diejenigen dagegen, welche in derselben Richtung sich bewegen, die der Luftstrom hat, werden durch den letzteren verstärkt. Er trifft, so lange seine Geschwindigkeit noch gröfser ist, als die der Welle, die hintere Dossirung. Er beschleunigt also ihre Bewegung theils unmittelbar und theils dadurch, dafs er die im Herabsinken schon begriffenen Wassertheilchen noch stärker herabdrückt, während die in der vordern Dossirung befindlichen Theilchen am Aufsteigen nicht gehindert werden, weil der Kamm der Welle sie überragt und sie vor der Einwirkung des Windes schützt. So geschieht es, dafs die vor dem Winde laufenden Theile der ursprünglich kreisförmigen Wellen sich vorzugsweise ausbilden und in überwiegenden Dimensionen auftreten. Sobald sie aber eine starke Bewegung angenommen haben, so reifsen die am Ende befindlichen Wassertheilchen die nächst liegenden mit sich fort, und in dieser Art entstehn die lang gezogenen Wellen, deren Rücken bei heftigem Sturme und auf grofsen Meeren meilenweite Ausdehnung annehmen.

In voller Regelmäfsigkeit bilden sich die Wellen vielleicht niemals aus. Auf kleinen Gewässern, so wie auch in der Nähe der Ufer des Meeres und namentlich in Buchten, wo die Wellen einlaufen, zeigen sich diese Unregelmäfsigkeiten besonders auffallend.

Wenn man sich auf einem hohen Ufer befindet, von dem aus man eine gröfsere Wasserfläche übersehn kann, so lassen sich die einzelnen Wellen, deren Kamm niemals eine bedeutende Längenausdehnung hat, selten längere Zeit hindurch verfolgen. Nach einer Viertel-, oder spätestens nach einer halben Minute verschwinden sie plötzlich, während daneben andere auftauchen. In grofsen und tiefen Meeren, woselbst die Wellen sich viel vollständiger ausbilden, findet ein solcher Uebergang aus einem Systeme in das andre vielleicht gar nicht, oder doch nur viel seltener statt. Dagegen sind auch hier die Wellen in Betreff ihrer Höhe sehr verschiedenartig, und niemals zeichnet sich eine einzige Welle durch die gröfsere Höhe aus, sondern immer findet ein allmähliger Uebergang statt. Nach der Meinung der Schiffer folgen sich immer drei besonders hohe Wellen, von denen die mittelste am meisten sich erhebt. Dieses erklärt sich wohl dadurch, dafs zwei oder noch mehr verschiedene Systeme von etwas abweichenden Perioden gleichzeitig bestehn, die zuweilen zusammenfallen und alsdann die besonders hohen Wellen erzeugen. In manchen Fällen thürmen sich die Wellen und zwar nur stellenweise zu einer überraschenden Höhe auf, so dafs grofse Wassermassen auf das Deck des Schiffes treten und alle Gegenstände fortspülen, die gröfsere Angriffsflächen bieten und mit dem eigentlichen Schiffskörper nicht auf das Innigste verbunden sind. Diese Wellen, die ohne Zweifel aus dem Zusammentreffen verschiedener, sich kreuzender Systeme entstehn, nennt man Sturzseen.

Bei stark bewegter See und heftigem Winde bemerkt man sehr deutlich, dafs gleichzeitig eine grofse Anzahl von Wellensystemen in verschiedener Stärke und verschiedener Richtung auftritt. Als ich einst bei starkem Nordwinde von Dover nach Ostende fuhr und Foreland passirt war, folgten die gröfsten Wellen der Richtung des Windes und diese verursachten vorzugsweise das heftige Stampfen und Rollen des Dampfbootes. Neben diesem Systeme zeigten sich aber auch viele andre, welche, wenn auch schwächer, doch ganz regelmäfsig sich ausgebildet hatten und ohne Störung das erste verschiedenartig kreuzten. Selbst an Wellen von sehr geringer Erhebung fehlte es nicht, welche die bewegte Wasserfläche netzartig überzogen, und unter diesen waren auch solche, welche der Richtung des Windes entgegenliefen. Eine viel grofsartigere Entwickelung der Wellen sah ich, als ich bei mäfsigem Südwestwinde auf

dem Wege von Southampton nach Lissabon durch die Bai von Biscaya in gerader Richtung von der Insel Ushant (vor der nordwestlichen Ecke Frankreichs) nach dem Cap Finisterre fuhr. Der schwache Wind bildete ein System von Wellen, die nur etwa 3 Fufs hoch waren und dem Dampfschiffe gerade entgegen liefen. Ob diese Wellen bedeutende Ausdehnung hatten, liefs sich nicht erkennen, da ein anderes System überwiegend war, welches aus Nordwest anlief und die ersten sehr nahe unter rechtem Winkel kreuzte. Dieses mufste auf der Höhe des Atlantischen Oceans seinen Ursprung haben, wo ein anderer und wahrscheinlich viel stärkerer Wind es erregt hatte. Von dem hohen Vorderdeck aus, welches freie Aussicht über das ganze Schiff bot, konnte ich die Kämme dieser Wellen sehr deutlich betrachten. Sie zogen sich in geraden Linien hin und so weit das Auge reichte, war keine Unterbrechung in ihnen zu bemerken. Die Zwischenzeiten, in welchen sie das Schiff trafen, zeigten merkliche Abweichungen, doch mochten diese davon herrühren, dafs bei dem starken Rollen des Schiffes einige Veränderung des Curses unvermeidlich war. Als ich auf dem vordern Theile des Quarterdecks, also nahe in der Mitte des Schiffes stand, sahe ich, wenn wir uns gerade im untern Wellenscheitel befanden, die obern Wellenscheitel gewöhnlich in der Höhe des Horizontes. Die mittlere Wellenhöhe liefs sich hiernach leicht, und um so sicherer messen, als die Längenachse des Schiffes den Kämmen der Wellen parallel war, und sonach das ganze Schiff sich im Wellenthale befand. Es kam nur darauf an, die Messung in solchen Momenten vorzunehmen, wo das Schiff sich nicht merklich seitwärts überneigte, weil bei dem heftigen Rollen sonst die Höhe zu grofs oder zu klein gefunden wäre. Es ergab sich hiernach die mittlere Höhe der Wellen $12\frac{1}{2}$ Fufs Rheinländisch. Viele Wellen blieben aber niedriger und in Zwischenzeiten von wenigen Minuten traten immer einzelne höhere Wellen auf, die man schon in weiter Ferne bemerken konnte, und die sich, sobald sie das Schiff trafen, durch das viel stärkere Schwanken desselben zu erkennen gaben. Einzelne derselben waren 18 Fufs hoch.

Aufser den erwähnten beiden Wellensystemen bemerkte man zunächst die im Buge des Dampfbootes erregten Wellen, welche zu beiden Seiten des Schiffes sichtbar waren, und deren Kämme gegen das Kielwasser Winkel von 35 Graden bildeten. Drei dieser

Wellen waren hinter einander sehr deutlich sichtbar und sie liefen über die andern fort, bis sie etwa in der Entfernung von 100 Ruthen verschwanden. Endlich traten wieder sehr verschiedene kleinere Systeme auf, die man in den sich kreuzenden Furchen der Wasserflächen erkennen konnte.

Die vorstehenden Mittheilungen beziehn sich allein auf die Erscheinungen im tiefen Wasser. Wo sich der Boden erhebt und besonders wo er steil aufsteigt, wenn er auch noch weit unter der Oberfläche bleibt, werden die Schwingungen der Wasserfäden plötzlich gehemmt, und die ihnen mitgetheilte lebendige Kraft kann sich nur in einer gröfseren Erhebung des Wassers äufsern. Es bilden sich alsdann die sogenannten Grundwellen, die wegen ihrer unregelmäfsigen und stofsenden Bewegung besonders gefürchtet werden. Wenn die Untiefen höher ansteigen, so können die Wellen sich nicht mehr als zusammenhängende Wassermassen ausbilden. Ihre obern Schichten empfangen noch den vollen Stofs, dem die horizontale Bewegung der im Scheitel befindlichen Theilchen entspricht, die darunter liegenden werden aber durch den ansteigenden Boden aufgehalten, sie können also nicht schnell genug folgen, und der Scheitel, dem alsdann die Unterstützung fehlt, neigt sich vorn über, bis er ganz unabhängig von den frühern rotirenden Bewegungen der einzelnen Wassertheilchen, allein den Gesetzen der Schwere folgend, mit lautem Getöse hinabstürzt. Diese Erscheinung ist unter dem Namen der Brandung bekannt. Sie zeichnet sich vor allen übrigen Wellen dadurch aus, dafs sowol wegen der Luft, die von dem überschlagenden Kamme eingeschlossen wird, als durch das freie Herabfallen der Wassermasse eine sehr starke Schaumbildung jedesmal stattfindet. Das glänzende Weifs der Brandung ist selbst in der Dunkelheit schon in weiter Ferne bemerkbar, während das in kurzen Zwischenzeiten wiederholte oft donnerähnliche Getöse den Schiffer gleichfalls vor der Gefahr warnt. Wo die Welle brandet, ist die Wassertiefe meist so geringe, dafs das Schiff nicht mehr schwimmen kann, es läuft also Gefahr zu stranden, und von den ungeschwächt anlaufenden Wellen in kürzester Frist zerschlagen zu werden. Wenn aber auch die Tiefe hinreichend grofs ist, so dafs das Schiff, ohne den Grund zu berühren, darüber gehn kann, so hebt und senkt es sich auf diesen starken Wellen viel mehr als in der offenen See, und besonders sinkt es tiefer hinab, insofern

die schäumende Wassermasse ein weit geringeres specifisches Gewicht hat und daher weniger trägt. Wenn daher auf der Barre vor der Mündung eines Stromes unter gewöhnlichen Verhältnissen auch überflüssige Wassertiefe ist, so wird es doch bedenklich, bei starkem Wellenschlage sie zu überfahren, weil gerade hier das Schiff so tief durchschlägt. Auch die ganz veränderte Bewegung der einzelnen Wassertheilchen vermehrt die Gefahr. Während das Wasser im offenen Meere so wie auch vor einer steilen Felswand nur hin- und herschwankt, ohne entschieden der Richtung des Sturmes zu folgen, so nimmt in der Brandung die ganze Masse diese Bewegung an und es bildet sich beim Aufschlagen jeder Welle eine heftige, dem Ufer zugekehrte Strömung. Dieselbe erschwert noch wesentlich die Steurung und vermehrt dadurch die Gefahr.

Wenn das Meeresufer nicht ganz steil und nahe senkrecht aus grofser Tiefe bis über den Scheitel der Wellen emporsteigt, so bildet sich beim Sturme vor demselben jedesmal eine starke Brandung. Ist das Ufer flach und sandig, so zeigt sich auf demselben ein sehr regelmäfsiges, wenig geneigtes Banket, das einige Fufs hoch über dem gewöhnlichen Meeresspiegel liegt. Dieses ist der sogenannte Strand, und er verdankt seine Entstehung den beim Sturme überstürzenden Wellen. Die gelösten Wassermassen strömen von der See aus darüber hin, bis sie in Folge des ansteigenden Bodens und durch die starke Reibung gegen denselben ihre Geschwindigkeit verloren haben und nun auf der sanft geneigten Fläche wieder rückwärts fliefsen. An der Stelle, wo diese rücklaufenden Wellen den vom Meere aus ankommenden begegnen, bildet sich in der Dossirung ein sehr merklicher und seewärts steil abfallender Absatz. Doch das rückfliefsende Wasser kann in seiner Bewegung hier nicht vollständig gehemmt werden, weil sonst der Wasserspiegel vor dem Ufer sich immer mehr erhöhen müfste. Es fliefst also, nachdem es plötzlich aufgehalten war, bald wieder unter dem nach dem Lande gekehrten Strome der neuen Welle dem Meere zu, und wo es der nächsten Welle begegnet, tritt wieder ein Stillstand ein und Sand und Kies lagern sich hier ab. So bilden sich vor dem Ufer mehrere Rücken in ziemlich gleichen Abständen von einander und parallel zum Strande. Man nennt diese an der Ostsee Riffe und glaubt gemeinhin, dafs jedesmal drei derselben vorkommen. Doch kann man oft auch das vierte und unter Umständen selbst

das fünfte noch in gröfserer Tiefe unterscheiden. Die entgegengesetzten Strömungen kann man selbst bei mäfsigem Wellenschlage leicht bemerken. Wirft man beim Baden einen specifisch leichten Körper, also ein Stückchen Holz auf das Wasser, so schwimmt dieses sehr schnell nach dem Ufer, läfst man aber ein bereits durchnäfstes Tuch, das also langsam zu Boden sinkt, fallen, so wird dieses sehr schnell von dem untern Strome seewärts getrieben.

Eine Eigenthümlichkeit der Meereswellen mufs hier noch erwähnt werden, nämlich dafs sie jedesmal von der Seeseite aus und nahe senkrecht das Ufer treffen. Sie bewegen sich also in Richtungen, welche zuweilen sehr stark von der des Windes abweichen, und an kleineren Inseln sogar derselben entgegengesetzt sind. Wenn ein heftiger Wind vom Lande dem Meere zugekehrt ist, so bleibt die Wasserfläche nächst dem Ufer ganz ruhig, indem sie durch das Ufer geschützt ist. Erst in einiger Entfernung bilden sich kleine Wellen, die seewärts gröfser werden. Wenn das Ufer aber auch so niedrig ist, dafs es keinen Schutz gewährt, so kann ein starker Wellenschlag nicht plötzlich entstehn. Die Schwingungen der Wasserfäden sind, ehe die regelmäfsigen Wellen sich gebildet haben, nicht in Uebereinstimmung mit einander, und wenn, wie in diesem Falle, in der Richtung des Windes die Tiefe zunimmt, so genügt der Stofs des kürzeren Fadens nicht, um dem dahinter stehenden längeren die entsprechende Bewegung mitzutheilen.

Ist die Richtung des Windes dem Ufer parallel, so laufen die Wellen dennoch nahe rechtwinklig gegen das Ufer. Dieses erklärt sich durch die Eigenthümlichkeit, dafs die Geschwindigkeit der Wellen mit der Wassertiefe abnimmt, und immer um so geringer wird, je kleiner jene ist. Hierdurch verändert der Kamm und sonach auch die Bewegung der Welle die Richtung, sobald sie sich seitwärts über den ansteigenden Grund ausdehnt. Man sieht dieses sehr deutlich, sobald man auf einem hohen Ufer steht. Die auflaufenden Wellen sind keineswegs auf dem flachen Wasser in der Nähe des Ufers entstanden, die starke Bewegung hat sich vielmehr in der offenen See ausgebildet, und indem das zur Seite befindliche wenig bewegte Wasser hierdurch mit fortgerissen wird, so kehrt sich die Welle in dem Theile, der nicht mehr die hinreichende Tiefe findet, dieser untiefen Stelle, also dem Ufer zu.

Hat das Ufer nur geringe Ausdehnung, oder begrenzt es nur

eine kleine Insel, so kann bei heftigem Sturme durch diese die Wellenbewegung nirgend unterbrochen oder das Wasser irgend wo beruhigt werden. Diese Bewegung ist aber überall dem Ufer zugekehrt. Die vorüberlaufenden Wellen verändern aus dem angeführten Grunde ihre Richtung und zwar geschieht dieses an der vom Winde abgekehrten Seite ganz vollständig, so dafs sie hier dem Winde entgegen treten. Man darf indessen nicht annehmen, dafs es in einiger Entfernung eine Stelle giebt, von wo aus die Wellen ganz entschieden nach der einen und der andern Richtung, also theils vor dem Winde und theils demselben entgegen laufen. Der Uebergang wird vielmehr durch die verschiedenen gleichzeitig auftretenden Wellensysteme ohne eine wahrnehmbare scharfe Begrenzung vermittelt.

Nach dieser allgemeinen Darstellung der Wellen gehe ich zur nähern Erklärung derselben über. Wenn auch vielfache Einzelheiten die Regelmäfsigkeit der Erscheinung unterbrechen, so tritt diese doch jedesmal in den wesentlichsten Theilen so übereinstimmend auf, dafs man ihre Abhängigkeit von gewissen Gesetzen nicht bezweifeln kann. Diese Gesetze können nur die allgemeinen dynamischen, oder speciell die hydrodynamischen sein. Ich werde indessen die letzten nicht zum Grunde legen, vielmehr die ersten benutzen, und die Bedingungen, durch deren Einführung jene von diesen sich unterscheiden, besonders betrachten. Diese Bedingungen sind die der Continuität, sie sind also rein geometrisch. Das Wasser bleibt auch während der Wellen-Bewegung eine Masse, die im Innern sich nicht trennt, und es kann darin nicht der geringste freie Raum entstehn, den es nicht vollständig erfüllt. Andrerseits ist seine Elasticität, wenn sie auch durch sehr genaue Messungen im gewissen Grade erwiesen ist, dennoch so unbedeutend, dafs sie bei dieser Untersuchung nicht berücksichtigt werden darf. Es mufs also die Bedingung eingeführt werden, dafs in allen Perioden der Wellen-Bewegung der ganze innere Raum der Masse vollständig angefüllt bleibt, auch an keiner Stelle Ueberfüllung eintritt. Die genaueste Berücksichtigung dieser Bedingung ist vorzugsweise maafsgebend, und zwar mufs sie bei Wellen von mefsbarer und endlicher Höhe noch zutreffen, denn bei Voraussetzung unendlich kleiner Wellen entzieht sie sich der Betrachtung.

Unter diesem Gesichtspunkte, und ganz abgesehn von den dy-

namischen Gesetzen, lassen sich schon manche höchst wichtige Einzelheiten der Erscheinung erkennen, und hierdurch vereinfacht sich die Untersuchung. Alsdann mufs aber geprüft werden, ob und unter welchen besondern Bedingungen die dynamischen Gesetze den Eintritt derjenigen Bewegungen gestatten, auf welche die geometrische Betrachtung führte. Es ist noch darauf aufmerksam zu machen, dafs auch solche Bewegungen möglich sind und ohne Zweifel wirklich vorkommen, wobei ein starker Verlust an lebendiger Kraft eintritt, die sich also nur in dem Falle dauernd erhalten können, wenn dieser Verlust durch neue äufsere Anregung immer ersetzt wird. Diese stete Anregung erfolgt in der Natur durch den Wind. Mit dem Aufhören des Windes hört auf Wasserflächen von geringer Tiefe auch der Wellenschlag jedesmal gleichzeitig auf.

§. 2.

Wellen auf Wasserflächen von unendlicher Tiefe.

Wenn nach den vorstehend mitgetheilten Erfahrungen die Wellen-Bewegung dadurch entsteht, dafs die einzelnen Theile der Wassermasse gewisse geschlofsne Bahnen durchlaufen, so läfst sich der Zusammenhang zwischen diesen Bewegungen leicht nachweisen.*) Die Bahn, welche ein Wassertheilchen der Oberfläche durchläuft, messe man durch rechtwinklige Coordinaten, deren Anfangspunkte im Mittelpunkte der Bahn liegen, oder falls die Bahn keine symmetrische Figur sein sollte, in irgend einem Punkte, der sich jedoch lothrecht unter dem obern Scheitel der Bahn und innerhalb der letzteren befindet. Die Zeit werde von dem Momente ab gezählt, in welchem das Wassertheilchen in dem obern Scheitel seiner Bahn sich befand, es also zugleich auch den obern Scheitel der Welle bildete. In diesem Stande war die lothrechte Ordinate ein Maximum und die horizontale Abscisse gleich Null. Nach der Zeit t sei das Wassertheilchen in denjenigen Punkt der Bahn gelangt, der durch die Ordinate y und die Abscisse x gegeben ist. In dieser Zeit hat aber die Welle selbst, oder ihr Scheitel einen gewissen Weg, und

*) Die Untersuchungen in diesem und den beiden folgenden Paragraphen sind ausführlicher mitgetheilt in meiner Abhandlung „Ueber Wellen auf Gewässern von gleichmäfsiger Tiefe“ in den Abhandlungen der Königlichen Academie der Wissenschaften zu Berlin. 1861.

zwar in derselben Richtung zurückgelegt, in der das Wassertheilchen sich bewegte, als es sich im obern Scheitel seiner Bahn befand. Die Geschwindigkeit der Welle ist jedenfalls constant, insofern die Wassertiefe und andre Umstände, die vielleicht darauf Einflufs haben, überall dieselben sind. Diese Geschwindigkeit sei c. Der Scheitel der Welle hat sonach in der Zeit t den Weg ct zurückgelegt, oder die horizontale Entfernung des in Rede stehenden Punktes der Bahn vom Scheitel der Welle ist nunmehr $ct-x$. Bestimmt man die Wellenlinie, die in der Oberfläche des Wassers sich bildet, wieder durch rechtwinklige Coordinaten x' und y', deren gemeinschaftlicher Anfangspunkt sich lothrecht unter dem gegenwärtigen Scheitel der Welle und in derselben Höhe befindet, in der er für die Ordinaten jener Bahn angenommen wurde, so hat man

$$x' = ct - x$$
$$y' = y$$

Da x' in der entgegengesetzten Richtung von x zählt, so haben die Differenziale dx und dx' auch entgegengesetzte Zeichen.

Dieses bezog sich auf die Oberfläche des Wassers, es gilt aber auch für jedes im Innern befindliche Wassertheilchen. Wenn ein solches eine gewisse geschlofsne Bahn durchläuft, so bildet es gleichfalls eine Welle, die sich sichtbar darstellen würde, wenn der darüber befindliche Theil der Wassermasse entfernt wäre. Man denke nun eine vertikale Ebene werde mit derselben Geschwindigkeit, mit der die Welle sich bewegt, und in gleicher Richtung durch das Wasser gezogen, und jedes einzelne Theilchen eines Wasserfadens hinterlasse auf dieser Ebene in jedem Momente einen gewissen Eindruck an der Stelle, wo es dieselbe berührte, oder es zeichne den Weg, den es relativ gegen diese Ebene zurücklegte, so wird letztere nach einer vollen Wellenperiode die Zeichnung aller Wellenlinien enthalten, welche die unter einander befindlichen Wassertheilchen bilden. Diese Wellenlinien theilen die ganze Ebene in gewisse übereinander liegende Schichten ein, und jede derselben wird nach und nach von dem betreffenden Theile des Wasserfadens gefüllt. Indem die Anfüllung ganz vollständig sein mufs, so läfst die Dicke jeder Schicht zugleich auf die relative Geschwindigkeit des Wassertheilchens an jeder Stelle schliefsen. Als der obere Scheitel verzeichnet wurde, bewegte sich das Wassertheilchen in derselben Richtung, in der die Ebene sich fortschiebt, für den untern Scheitel in der entgegenge-

setzten, daher ist die relative Bewegung im ersten Falle kleiner, als im letzten, und insofern die Dicke der Schicht immer gleich ist dem Quotient der Masse dieses Wassertheilchens dividirt durch dessen relative Geschwindigkeit, so ist die Dicke der Schicht im obern Scheitel der Welle gröfser, als im untern. Hieraus ergiebt sich schon, wie bei der vorausgesetzten Bewegung der einzelnen Theilchen und zwar ganz in Uebereinstimmung mit der Bedingung, dafs der innere Raum jedesmal vollständig gefüllt sein mufs, die Wassermasse sich stellenweise hebt und stellenweise senkt, also die Wellenbildung erfolgt.

Eine wichtige Frage ist es nun, ob bei allen diesen, in der beschriebenen Art dargestellten Wellenlinien die Scheitel zusammentreffen, also lothrecht unter einander liegen. Nach dem oben angeführten Versuche scheint die Erfahrung dieses zu bestätigen. Geschieht dieses aber wirklich, so folgt daraus wieder, dafs auch die verschiedenen unter einander gebildeten Wellen mit gleicher Geschwindigkeit fortschreiten. Plötzliche Abweichungen können nirgend vorkommen, weil sonst die Bedingung der Continuität nicht erfüllt wäre, und einzelne leere Räume und zugleich solche Stellen sich bilden müfsten, wo das nächste Wassertheilchen noch in den Raum einträte, den das erste schon vollständig anfüllt. Aber auch die allmähligen Uebergänge, die durch unendlich kleine Abweichungen vermittelt werden, würden nur möglich sein, wenn die Geschwindigkeiten, mit denen die unter einander befindlichen Wassertheilchen ihre Bahnen durchlaufen, wesentlich verschieden wären und in endlichen Abständen immer andere Wassertheilchen mit einander in Berührung brächten, was der Wahrnehmung widerspricht, dafs bei sehr grofsen Tiefen der Wellenschlag nach dem Aufhören des Sturmes noch lange anhält, also keine namhafte Reibung der Wassertheilchen unter sich statt finden kann. Aufserdem leuchtet ein, dafs nach der letzten Voraussetzung die Anschwellungen der über einander liegenden Schichten sich wenigstens theilweise aufheben müfsten und sonach die Wellenerhebung der Oberfläche nicht in der einfachsten Art eintreten würde.

Obwohl dieser Zweifel sich nicht durch directe Beweisführung vollständig beseitigen läfst, so ist die Annahme übereinstimmender Bewegungen in allen unter einander befindlichen Wassertheilchen, welche denselben Wasserfaden bilden, gewifs die plausibelste. Ich

führe sie also ein, und untersuche, ob sie Resultate giebt, die sich sowol an die geometrischen, wie an die dynamischen Gesetze anschliefsen. Schliefslich werde ich die auf solche Weise dargestellten Gesetze der Wellenbewegung mit verschiedenen Beobachtungen vergleichen, und wenn sie mit diesen soweit übereinstimmen, als die Sicherheit der Messungen gestattet, so dürfte der Zweifel vollständig gelöst sein.

Nach allen Erfahrungen behält das Wasser selbst unter dem stärksten Drucke noch seine volle Beweglichkeit, und seine Geschwindigkeit oder die Aenderung derselben wird nur durch die Differenz der Pressungen von der einen und der andern Seite bedingt, ohne dafs die absolute Gröfse derselben hierauf irgend welchen Einflufs hat. Es ist demnach denkbar, dafs die Bewegung der Wassertheilchen in sehr grofser Tiefe noch denselben Gesetzen folgt, und dafs diese Theilchen ähnliche Bahnen in entsprechender Weise durchlaufen, wie die in der Oberfläche befindlichen. Dieses geschieht wirklich, wenn 1) jede der erwähnten dünnen Schichten während der Wellenbewegung an allen Stellen von den darüber liegenden Schichten gleich stark gedrückt wird, und wenn 2) die horizontalen, wie die vertikalen Durchmesser der Bahnen, welche die verschiedenen Theilchen desselben Fadens durchlaufen, bei zunehmender Tiefe in gleichem Verhältnisse immer kleiner, und bei der hier vorausgesetzten unendlichen Tiefe zuletzt gleich Null werden. Die Bahnen würden sich also endlich auf Punkte zusammenziehn, oder die aufrecht stehenden Wasserfäden würden in ihren Wurzeln unbeweglich bleiben, und auf dem Grunde nicht hin- und hergeschoben werden.

Aus dem weitern Verfolg der Untersuchung wird sich ergeben, dafs beide Bedingungen in aller Schärfe erfüllt werden. Der Beweis dafür läfst sich aber nur geben, wenn man die Bewegungen schon kennt. Es ist zunächst zu ermitteln, welche Bewegungen unter diesen Bedingungen eintreten können.

Man setze also voraus, dafs die Bahnen, in welchen die einzelnen Elemente desselben Wasserfadens sich bewegen, ähnliche Figuren sind und übereinstimmend durchlaufen werden. Hiernach sind nicht nur die Umlaufszeiten gleich, und alle Theile des Fadens treten gleichzeitig in die obern und untern Scheitel, sondern wenn man die Bahnen nach Polar-Coordinaten bestimmt, und den Winkel, den der

Radius Vector mit dem Lothe macht, φ nennt, so sind in jedem Momente diese Winkel φ in allen zu demselben Faden gehörigen Bahnen gleich grofs.

Ein sehr kleiner Theil eines Wasserfadens oder ein Element desselben sei nach Fig. 2 von den Punkten A und a begrenzt, diese Punkte liegen also in demselben Faden, und sie durchlaufen die Bahnen AK und ak. Nach t Secunden sind diese Punkte von A und a nach K und k gerückt. Die beiden betreffenden Radien Vectoren KM und km bilden alsdann mit dem durch den Scheitel gezogenen Lothe die gleichen Winkel φ. Der Radius Vector der obern Bahn sei gleich ϱ, der der untern $\varrho - \delta\varrho$, indem durch δ die Abweichungen der beiden Bahnen, durch d dagegen die Differenziale bezeichnet werden, die sich auf die im Laufe der Zeit eintretenden Veränderungen beziehn. Der Abstand der beiden Mittelpunkte der Polar-Coordinaten oder Mm sei gleich δz. Nach Verlauf derselben Zeit sind die Scheitelpunkte der Wellenlinien nach B und b gerückt.

$$AB = ab = ct$$

indem c die constante Geschwindigkeit der Welle bedeutet. Die betreffenden Wellenlinien, die in derselben Zeit auf jener mit der Geschwindigkeit der Welle fortgezogenen Ebene durch die Berührung mit beiden Punkten A und a sich dargestellt haben, seien BK und bk. Zieht man nun durch den Punkt M die Horizontale MG und zählt man von dieser die Ordinaten aufwärts, so sind nach Verlauf der Zeit t die Coordinaten des Punktes K

$$x = HM = \varrho \sin \varphi$$
$$y = HK = \varrho \cos \varphi$$

und in Bezug auf die Wellenlinie

$$x' = HG = ct - \varrho \sin \varphi$$
$$y' = HK = \varrho \cos \varphi.$$

Die entsprechenden Gleichungen für die untere Wellenlinie lassen sich gleichfalls leicht darstellen, doch kann man aus der Vergleichung der beiden betreffenden Werthe für y' nicht unmittelbar die Dicke der Wasserschicht herleiten, weil die zu demselben Winkel φ gehörigen Werthe x' nicht gleich grofs sind, wie sich auch aus der Figur ergiebt. Die Kenntnifs des vertikalen Abstandes beider Wellenlinen von einander ist aber nothwendig, um die geometrische Bedingung, oder die der Continuität, einzuführen.

Man betrachte die Aenderungen der Erscheinung, wie solche

in sehr kleinen, aber gleich grofsen Zeitintervallen eintreten. Das Differenzial dt ist daher constant. Die Aenderungen des Winkels φ kennt man nicht, noch auch die Beziehung, in der φ zu t und ϱ steht. Indem aber die sämmtlichen nach und nach eintretenden Aenderungen in gleichen Zeitintervallen gemessen werden, so bezeichnet die Gröfse dx' auch die Vergröfserung des horizontalen Abstandes des Wellenscheitels von dem in Betracht gezogenen Punkte k, wie solche in der constanten Zeit dt erfolgt. In jedem Zeitelemente entfernt sich also das untersuchte Wassertheilchen von dem Wellenscheitel um dx' und es mufs jedesmal den entsprechenden Theil der dünnen Schicht ausfüllen. Wenn also, wie hier immer geschieht, die Breite der untersuchten Wassermasse oder der Welle gleich Eins gesetzt wird, so mufs die Fläche des kleinen Theiles der Schicht, oder nach der Figur

$$JK \,.\, dx' = df$$

eine constante Gröfse sein. Es kommt zunächst darauf an, die Höhe JK zu finden.

Man setze den Winkel, den die obere Wellenlinie im Punkte K mit dem Lothe macht, gleich ψ. Alsdann wird auch die untere Wellenlinie, die nach der Voraussetzung der ersten unendlich nahe liegt, in dem Punkte J denselben Winkel mit dem Lothe bilden. In dem kleinen Dreiecke kCJ, dessen Seite kJ man als gerade Linie ansehn kann, ist sonach der Winkel

$$CJk = \pi - \psi$$

ferner $$kCJ = \varphi$$

und $$kC = \delta\varrho$$

Hieraus ergiebt sich

$$CJ = \frac{\operatorname{Sin}(\psi - \varphi)}{\operatorname{Sin}\psi} \,.\, \delta\varrho$$

und wenn man den Abstand der beiden Punkte M und m gleich δz setzt,

$$KJ = KC + CJ$$

$$KJ = \delta z + \frac{\operatorname{Sin}(\psi - \varphi)}{\operatorname{Sin}\psi} \,.\, \delta\varrho$$

Man hat $$\operatorname{Sin}\psi = -\frac{dx'}{ds'}$$

$$\operatorname{Cos}\psi = \frac{dy'}{ds'}$$

wo ds' das Bogenelement der Wellenlinie bezeichnet. $\operatorname{Sin}\psi$ ist aber negativ, weil $\delta x'$ der Bewegung der Welle entgegengekehrt ist. Man

erhält hiernach

$$KJ = \delta z + \operatorname{Cos}\varphi \,.\, \delta\varrho + \operatorname{Sin}\varphi \,.\, \frac{dy'}{dx'} \,.\, \delta\varrho$$

und wenn man dieses mit dx' multiplicirt, so folgt

$$df = (\delta z + \operatorname{Cos}\varphi \,.\, \delta\varrho)\, dx' + \operatorname{Sin}\varphi \,.\, \delta\varrho \,.\, dy'$$

Indem nun nach dem Vorstehenden, wenn φ und ϱ als variabel angesehn werden,

$$dx' = c\,dt - \varrho \operatorname{Cos}\varphi \,.\, d\varphi - \operatorname{Sin}\varphi \,.\, d\varrho$$

und

$$dy' = -\varrho \operatorname{Sin}\varphi \,.\, d\varphi + \operatorname{Cos}\varphi \,.\, d\varrho$$

so ergiebt sich endlich

$$df = (c\,.\,\delta z\,.\,dt - \varrho\,.\,\delta\varrho\,.\,d\varphi) + (c\,.\,\delta\varrho\,.\,dt - \varrho\,.\,\delta z\,.\,d\varphi)\operatorname{Cos}\varphi - \delta z\,.\,d\varrho\,.\operatorname{Sin}\varphi$$

Dieses Flächenelement soll nach der geometrischen Bedingung für alle Werthe von φ denselben Werth behalten, es mufs daher von Sin φ und Cos φ ganz unabhängig sein, oder die Coefficienten dieser beiden trigonometrischen Functionen müssen an sich gleich Null sein. Man hat also zunächst

$$\delta z \,.\, d\varrho = o$$

Der erste Factor kann aber nicht gleich Null sein, denn wenn dieses der Fall wäre, so würden beide Punkte concentrische Curven beschreiben, also die entsprechenden Wellenlinien müfsten sich kreuzen. Hiernach bleibt nur übrig, dafs

$$d\varrho = o$$

oder ϱ eine constante Gröfse ist. Die Bahn, in der das untersuchte Wassertheilchen A sich bewegt, ist also ein Kreis. Da aber keine bestimmte Tiefe für dieses Theilchen vorausgesetzt war, so hat das Resultat ganz allgemeine Gültigkeit und alle Wassertheilchen bewegen sich in kreisförmigen Bahnen.

Sodann ist auch der Coefficient von Cos φ gleich Null

$$c\,.\,\delta\varrho\,.\,dt - \varrho\,.\,\delta z\,.\,d\varphi = o$$

also

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c\,.\,\delta\varrho}{\varrho\,.\,\delta z}$$

Der Ausdruck auf der rechten Seite des Gleichheitszeichens ist aber für jedes einzelne Wassertheilchen constant oder von dem Winkel φ und der Zeit t unabhängig, also ist auch $\frac{d\varphi}{dt}$ eine constante Gröfse.

Die geometrische Bedingung hat also schon zu der wichtigen Folgerung geführt, dafs die vorausgesetzte Bewegung nur möglich ist, wenn jedes einzelne Wassertheilchen eine kreisförmige Bahn mit constanter Geschwindigkeit durchläuft. Der obige Ausdruck für df

verdient indessen noch in Bezug auf das allein übrigbleibende erste Glied eine nähere Betrachtung.

$$df = c \,.\, \delta z \,.\, dt - \varrho \,.\, \delta\varrho \,.\, d\varphi$$

Die Bedeutung dieses Ausdruckes ergiebt sich, wenn man die Flächen berechnet, die von den beiden Wellenlinien begrenzt werden. Der leichteren Rechnung wegen führe man aber für die constante Angular-Geschwindigkeit eine andere Bezeichnung ein, nämlich

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{r}$$

Die Bedeutung dieser neuen Constante r ist an sich klar, sie bezeichnet nämlich den Radius derjenigen Bahn, in welchem das Wassertheilchen mit der Geschwindigkeit der Welle, die gleich c ist, sich bewegt. Hieraus ergiebt sich, dafs die Länge einer Welle von einem obern Scheitel bis zum nächsten gemessen gleich $2r\pi$ ist, weil beim jedesmaligen Vorübergange eines solchen Wellenscheitels auch dasselbe Wassertheilchen im obern Scheitel seiner Bahn sich befinden mufs.

Wenn man die Ordinaten y' von der durch den untern Scheitel der Wellenlinie gezogenen Horizontalen aufwärts mifst, so ist

$$y' = (1 + \operatorname{Cos}\varphi)\,\varrho$$

und

$$dx' = (r - \varrho \,.\, \operatorname{Cos}\varphi)\,d\varphi$$

$$\int y'dx' = (r\varrho - \tfrac{1}{2}\varrho^2)\,\varphi + \varrho\,(r - \varrho)\operatorname{Sin}\varphi - \tfrac{1}{4}\varrho^2 \operatorname{Sin} 2\varphi$$

und zwischen den Grenzen $\varphi = o$ und $\varphi = 2\pi$ oder für eine Wellenlänge

$$\int y'dx' = (2r\varrho - \varrho^2)\,\pi$$

Die Länge der Welle ist aber $2r\pi$, daher ist die Wellenlinie von der angenommenen horizontalen durchschnittlich entfernt um

$$\varrho - \frac{\varrho^2}{2r}$$

sie liegt also durchschnittlich unter dem Mittelpunkte der obern Bahn um die Gröfse

$$\frac{\varrho^2}{2r}$$

In gleicher Art liegt die zweite Wellenlinie, die zur Bahn vom Radius $\varrho - \delta\varrho$ gehört, durchschnittlich um

$$\frac{\varrho^2 - 2\,.\,\varrho\,.\,\delta\varrho}{2r}$$

unter dem Mittelpunkte dieser Bahn, und da der erste Mittelpunkt

um δz höher liegt, als der zweite, so ist der mittlere Höhenunterschied beider Wellenlinien gleich

$$\delta z - \frac{\varrho}{r}\,\delta\varrho$$

Der mittlere Werth von dx' ist aber

$$c \,.\, dt = r \,.\, d\varphi$$

also die elementare Fläche durchschnittlich

$$df = c \,.\, \delta z \,.\, dt - \varrho \,.\, \delta\varrho \,.\, d\varphi$$

daher mit dem obigen Ausdrucke genau übereinstimmend. Dieser Werth ist aber nicht nur der durchschnittliche, sondern der dauernde, der in Folge der geometrischen Bedingung sich nicht verändern darf.

Die erwähnte Bedingung führt noch zu einem andern höchst wichtigen Resultate. Die so eben untersuchten kleinen Flächen lassen sich für den obern und untern Scheitel der Wellenlinie sehr leicht bestimmen; nennt man nämlich Δ die Dicke der Schicht, so ist

$$\text{für } \varphi = 0,\ \Delta = \delta z + \delta\varrho \text{ und } dx' = (r - \varrho)\,d\varphi$$
$$\text{für } \varphi = \pi,\ \Delta = \delta z - \delta\varrho \text{ und } dx' = (r + \varrho)\,d\varphi$$
$$\text{also } df = (\delta z + \delta\varrho)(r - \varrho)\,d\varphi = (\delta z - \delta\varrho)(r + \varrho)\,d\varphi$$

Hieraus ergiebt sich

$$r\,\delta\varrho = \varrho\,\delta z$$

Man hat also eine sehr einfache Differenzial-Gleichung zwischen ϱ und z gebildet. Die Gröfse z darf man indessen nicht von unten nach oben zählen, weil ihr Anfangspunkt sonst in die unendliche Tiefe fallen, sie also unendlich grofs sein würde. Man mufs sie daher umgekehrt von oben nach unten messen und es empfiehlt sich, ihren Anfangspunkt in den Mittelpunkt derjenigen Bahn zu legen, deren Radius gleich r ist, die also die Wellenlinie als gewöhnliche Cycloïde darstellt. Hiernach wird δz negativ, und man hat

$$\delta z = -\,r\,\frac{\delta\varrho}{\varrho}$$

folglich $$z = -\,r \,.\, \log.\,\text{nat}\,.\,\varrho + \text{Const.}$$

Für $z = o$ ist aber $\varrho = r$, daher

$$z = r \,.\, \log.\,\text{nat}\,.\,\frac{r}{\varrho}$$

oder $$\varrho = r \,.\, e^{-\frac{z}{r}}$$

Es ergiebt sich hieraus, dafs die Radien der unter einander liegenden kreisförmigen Bahnen immer kleiner, jedoch erst in unendlicher Tiefe gleich Null werden. Die zweite der obigen Vor-

aussetzungen, deren Richtigkeit nachträglich bewiesen werden sollte, ist also bereits durch die geometrische Betrachtung erwiesen.

Es kommt nunmehr darauf an, zu untersuchen, ob und unter welchen Bedingungen die vorstehend dargestellten Bewegungen den dynamischen Gesetzen entsprechen.

Jedes einzelne Wassertheilchen soll mit der constanten Geschwindigkeit $\varrho \frac{d\varphi}{dt}$ eine kreisförmige Bahn vom Radius ϱ durchlaufen. Dieses ist nur möglich, wenn alle einwirkende Kräfte mit Einschlufs der Centrifugal-Kraft sich gegenseitig aufheben. Diese Kräfte sind: die Schwere, die Centrifugal-Kraft und der Druck, den die nächst darunter belegene Wasserschicht auf das untersuchte Theilchen ausübt. Es ist indessen nicht nöthig, auf die beschleunigenden Kräfte zurückzugehn, vielmehr genügt es, die bewegenden Kräfte oder die Pressungen unmittelbar in Betracht zu ziehn.

Die Schwere wirkt vertikal abwärts. Das Gewicht des Wassertheilchens sei gleich dm.

Die Centrifugal-Kraft wirkt in der Richtung des Radius, also unter dem Winkel φ gegen das Loth. Sie ist gleich

$$\frac{\varrho^2 . d\varphi^2}{2g\varrho . dt^2} dm$$
$$= \frac{\varrho c^2}{2gr^2} dm$$

Zerlegt man dieselbe, so ist ihre Wirkung in der vertikalen Richtung, im ersten Quadranten der Schwere entgegengesetzt

$$= \frac{\varrho c^2}{2gr^2} \operatorname{Cos} \varphi . dm$$

und in der horizontalen Richtung, übereinstimmend mit der Bewegung der Welle

$$= \frac{\varrho c^2}{2gr^2} \operatorname{Sin} \varphi . dm$$

Der Druck der darunter befindlichen Wasserschicht, den ich vorläufig mit D bezeichne, ist durch die Bewegung derselben bedingt. Ruht ein Körper auf einer Unterlage, so drückt er dieselbe mit seinem vollen Gewichte, wenn sie keine vertikale Bewegung hat, oder wenn sie mit constanter Geschwindigkeit sich hebt oder senkt. Auch durch horizontale Bewegungen wird der Druck nicht verändert. Ist dagegen die vertikale Geschwindigkeit der Unterlage beschleunigt oder verzögert, so übt der Körper den

einen Druck aus, der gleich ist

$$\left(1 - \frac{d^2y}{2g \,.\, dt^2}\right) dm$$

Im vorliegenden Falle und zwar wieder für den ersten Quadranten der Bahn ist d^2y an sich negativ, da aber y aufwärts, also der Richtung der Schwere entgegen gemessen wird, so ändert sich nicht das Zeichen des zweiten Gliedes in der Parenthese. Wäre dm ein fester Körper, so würde dieser Druck lothrecht wirken, da der Körper aber flüssig ist, der Druck sich also in allen Richtungen äufsert, so ist er normal gegen die Oberfläche der Unterlage gerichtet, und vermehrt sich nach Maafsgabe der gröfsern Ausdehnung derselben, so dafs

$$D = \left(1 - \frac{d^2y}{2g \,.\, dt^2}\right) \frac{ds'}{dx'} \,.\, dm$$

Indem die Pressungen der darüber befindlichen Schichten hierbei gar nicht berücksichtigt sind, so bezieht sich dieser Ausdruck vorläufig nur auf die in der Oberfläche befindliche Wasserschicht, und es bleibt der spätern Untersuchung vorbehalten, ob und welche Aenderungen in den tiefer belegenen Schichten eintreten. Der Druck, den das einzelne Wassertheilchen der obern Schicht auf die darunter befindliche Masse ausübt, ist aber eben so grofs, wie der Gegendruck, den sie von der letzteren erfährt. Dieser ist für den ersten Quadranten der Bahn schräge aufwärts und zwar der Bewegung der Welle entgegengerichtet.

Man führe nun für d^2y, dt^2 und dx' deren Werthe, durch φ ausgedrückt, ein und nehme darauf Rücksicht, dafs das Zeichen von d^2y schon früher in Betracht gezogen ist, alsdann findet man

$$D = \frac{(2gr^2 - \varrho c^2 \operatorname{Cos}\varphi)\, ds'}{2gr^2\,(r - \varrho \operatorname{Cos}\varphi)\, d\varphi}\, dm$$

folglich den vertikal aufwärts gerichteten Druck

$$\frac{dx'}{ds'} D = \frac{2gr^2 - \varrho c^2 \operatorname{Cos}\varphi}{2gr^2}\, dm$$

und den horizontalen Druck

$$\frac{dy'}{ds'} D = \frac{(2gr^2 - \varrho c^2 \operatorname{Cos}\varphi)\, \varrho \operatorname{Sin}\varphi}{2gr^2\,(r - \varrho \operatorname{Cos}\varphi)}\, dm$$

Hiernach sind die drei verschiedenen bewegenden Kräfte oder Pressungen entwickelt, welche auf die einzelnen Wassertheilchen der Oberfläche einwirken, und sich gegenseitig aufheben müssen, wenn die Bewegungen, welche die geometrische Betrachtung ergab,

wirklich stattfinden können. Die vorstehende Untersuchung ist noch insofern einseitig geführt, als sie sich allein auf den ersten Quadranten der Bahn bezog und die Richtungen der Kräfte nur in der Art in Rechnung gestellt wurden, wie sie sich in diesem Falle ergaben. Wenn man indessen irgend einen andern Quadranten wählt, so überzeugt man sich leicht, dafs durch die Aenderung der Zeichen die Hauptresultate, zu denen ich nunmehr übergehe, nicht geändert werden, vielmehr die Summen in ganz gleichen Ausdrücken sich darstellen.

Die kreisförmige und gleichförmige Bewegung kann nur statt finden, wenn ganz unabhängig von dem Winkel φ die Summe der vertikalen Pressungen, wie auch die der horizontalen gleich Null ist.

Die Summe der vertikalen Pressungen ist nach den vorstehenden Entwickelungen und zwar aufwärts gezählt

$$-dm+\frac{\varrho c^2}{2gr^2}\operatorname{Cos}\varphi\,.\,dm+\frac{2gr^2-\varrho c^2\operatorname{Cos}\varphi}{2gr^2}dm$$

also an sich schon gleich Null.

Die Summe der horizontalen Kräfte in der Richtung der Bewegung der Welle ist dagegen

$$\frac{\varrho c^2}{2gr^2}\operatorname{Sin}\varphi\,.\,dm-\frac{2gr^2-\varrho c^2\operatorname{Cos}\varphi}{2gr^2(r-\varrho\operatorname{Cos}\varphi)}\varrho\operatorname{Sin}\varphi\,.\,dm$$

Setzt man diesen Ausdruck gleich Null, so folgt

$$c^2=2gr$$

Dieses ist also die Bedingung, unter der die mechanischen Gesetze jene Bewegung gestatten.

Es kommt nun darauf an, zu untersuchen, in wiefern dieses Resultat noch auf die unter der Oberfläche liegenden Schichten Geltung hat. Dieses geschieht offenbar, sobald es sich herausstellt, dafs die oberste Schicht und jede folgende in ihrer ganzen Ausdehnung einen durchaus gleichen Druck auf die nächst darunter befindliche ausübt, also auf die Bewegung derselben keinen Einfluſs hat.

Der Druck des in der Oberfläche befindlichen Theilchens dm wirkte auf die Länge ds' mit der Kraft D, also auf die Längeneinheit ist seine Wirkung

$$\frac{D}{ds'}=\frac{2gr^2-\varrho c^2\operatorname{Cos}\varphi}{2gr^2(r-\varrho\operatorname{Cos}\varphi)}\cdot\frac{dm}{d\varphi}$$

und wenn man für c^2 den so eben gefundenen Werth $2gr$ einführt, ergiebt sich

$$\frac{D}{ds'} = \frac{dm}{r \cdot d\varphi}$$

Die Längeneinheit der nächst unter der Oberfläche liegenden Schicht erleidet daher einen Druck, der vom Winkel φ ganz unabhängig, also in der ganzen Wellenlänge derselbe ist. Der Druck der obern Schicht übt also keinen Einfluſs auf die Bewegung der nächstfolgenden aus, und diese bewegt sich eben so frei, als wenn sie die obere wäre. Dasselbe tritt bei der dritten Schicht und jeder folgenden ein, und es ergiebt sich hieraus, daſs die gefundenen Gesetze für die ganze Wassermasse bis zur vorausgesetzten unendlichen Tiefe herab volle Gültigkeit haben. Hierdurch ist aber auch die Richtigkeit der ersten jener beiden Voraussetzungen, die ich vorläufig einführte, erwiesen, daſs nämlich jede einzelne Wasserschicht, die sich zunächst unter irgend einer Wellenlinie befindet, von der darüber befindlichen bewegten Wassermasse in ihrer ganzen Ausdehnung gleichmäſsig gedrückt wird.

Hiernach erfolgt die Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe in höchst einfacher Weise. Jedes einzelne Wassertheilchen durchläuft mit constanter Geschwindigkeit eine kreisförmige Bahn. Die Angular-Geschwindigkeiten der sämmtlichen Wassertheilchen sind gleich groſs, die absoluten Geschwindigkeiten sind dagegen dem Radius der jedesmaligen Bahn proportional. Diese Radien stehn in einer gewissen Beziehung zu der Höhenlage des Mittelpunktes der Bahn, sie sind also bei gleicher Tiefe auch gleich groſs, und verkleinern sich abwärts immer mehr, bis sie endlich in unendlicher Tiefe gleich Null werden, oder die Bahnen sich in Punkte zusammenziehn. Jene Wasserfäden bleiben also mit ihren Wurzeln an derselben Stelle des Meeresgrundes und neigen sich bei der Wellenbewegung nur hin und her.

Die in gleicher Tiefe befindlichen Wassertheilchen durchlaufen zwar gleiche Bahnen mit gleicher Geschwindigkeit, aber die Stellen, welche sie in denselben gleichzeitig einnehmen, sind verschieden. In der Richtung der Bewegung der Welle gezählt, ist der Centriwinkel, den das betreffende Theilchen in seiner Bahn gegen das Loth bildet, etwas kleiner, als er in der nächst zurückliegenden Bahn in demselben Zeitmomente ist. Die Curve, welche diese Theilchen in ihrer Verbindung darstellen, ist demnach eine Cycloïde, und zwar jedesmal eine gestreckte. Sie könnte zwar auch eine ge-

wöhnliche Cycloïde sein, doch kommt dieses niemals vor. Eine überhöhte Cycloïde ist unmöglich, weil in diesem Falle die Bahnen je zwei zunächst liegender Theilchen in den obern Scheiteln sich durchkreuzen müfsten.

Es dürfte sich empfehlen, die analytischen Ausdrücke, von denen die Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe abhängt, zusammenzustellen und zu vervollständigen. Die Bedeutung der darin vorkommenden Bezeichnungen ist folgende.

r ist der Radius des Kreises, von dem die Wellenlänge abhängt, und der die Welle als gewöhnliche Cycloïde darstellen würde. In gewisser Tiefe darunter gehören die kreisförmigen Bahnen zum Radius ϱ, diese Tiefen z werden zwischen den betreffenden Mittelpunkten gemessen, so dafs sie von der Horizontalen, die durch die Mittelpunkte der mit r beschriebenen Bahnen gezogen ist, abwärts zählen. Ferner ist c die Geschwindigkeit der Welle, v die Geschwindigkeit eines Wassertheilchens, das die mit dem Radius ϱ beschriebene Bahn durchläuft, λ die Länge der Welle von einem obern Scheitel bis zum andern, und τ die Periode der Welle oder die Anzahl der Secunden, in der eine volle Welle an einem festen Punkte vorüberläuft. Endlich bezeichnet g den in der ersten Secunde durchlaufenen Raum eines frei fallenden Körpers (für Berlin ist $g=15{,}63245$ Rheinländische Fufs nach der Preufsischen Maafsbestimmung) und e ist die Grundzahl des natürlichen Logarithmen-Systems.

Hiernach ist

$$\lambda = 2r\pi$$

$$z = r \,.\, \log \,.\, \mathrm{nat}\, \frac{r}{\varrho}$$

$$\varrho = r \,.\, e^{-\frac{z}{r}}$$

$$c = \sqrt{2gr} = \sqrt{\frac{g\lambda}{\pi}}$$

$$\tau = \frac{\lambda}{c} = \sqrt{\frac{2r}{g}} \,.\, \pi = \sqrt{\frac{\lambda\pi}{g}}$$

$$v = \varrho\, \frac{c}{r}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{r}$$

der letzte Ausdruck bezeichnet die Angular-Geschwindigkeit, die allen Wassertheilchen gemeinsam ist.

Um diese Bewegungen anschaulich zu machen, sind auf Taf. II

die Wege der einzelnen Wassertheilchen sowie auch die Formen und Veränderungen der Wasserfäden dargestellt. Fig. 9 zeigt die Bahnen, welche die zu demselben Wasserfaden gehörigen einzelnen Theilchen durchlaufen. Der oberste, gröfste Kreis ist mit dem willkührlich angenommenen Radius r beschrieben. Vom Mittelpunkte dieses Kreises ab werden die Tiefen z gemessen, die sich jedesmal bis zu dem Mittelpunkte des betreffenden Kreises erstrecken. Der zu dem letzteren gehörige Radius ϱ ist nach der vorstehenden Formel berechnet. Es ergiebt sich aus dieser Figur, wie schnell die Radien in der Nähe der Oberfläche kleiner werden, während sie in gröfserer Tiefe viel langsamer abnehmen.

Wenn nun, während alle diese Bahnen gleichmäfsig von den einzelnen Theilchen eines Wasserfadens durchlaufen werden, eine Ebene mit derselben Geschwindigkeit fortgezogen wird, mit der die Welle sich bewegt, so zeigt Fig. 10 die Wege, welche alle diese Wassertheilchen längs einer solchen Ebene beschreiben. Die oberste Linie, welche die gewöhnliche Cycloïde ist, kommt in der Wirklichkeit nie vor, aber auch die hier dargestellte nächste Wellenlinie zeigt sich wohl niemals, vielmehr sind die Wellen stets flacher. Die Abstände z sind in Figur 9 und 10 so gewählt worden, dafs die zwischen je zwei Wellenlinien eingeschlossenen Flächen gleich grofs sind.

Fig. 11 deutet die Richtungen an, in welchen die einzelnen Wassertheilchen in einer Welle sich bewegen, während die Richtung, in der die Welle fortschreitet, durch den gröfseren Pfeil angegeben ist. Man bemerkt, wie die Richtungen der Bewegungen im obern und im untern Scheitel einander entgegengesetzt sind und wie sie allmählig in einander übergehn. Besonders ergiebt sich aber aus dieser Figur, wie sehr der Wind die Wellenbildung begünstigen und verstärken kann, wenn die Richtungen beider mit einander übereinstimmen. So lange die Geschwindigkeit des Windes noch gröfser ist, als die der Welle, so beschleunigt er im obern Scheitel, der seiner Einwirkung am meisten ausgesetzt ist, die horizontale Bewegung der hier befindlichen Wassertheilchen. Die ansteigende Fläche der hintern Böschung, und namentlich die obere Hälfte derselben trifft er gleichfalls, und drückt sie abwärts, wodurch er wieder die Bewegung der hier befindlichen Wassertheilchen befördert. Wo aber diese Bewegungen ihm entgegengekehrt sind, er

also dieselbe schwächen oder aufheben würde, da befindet sich die Oberfläche schon im Schutze der nachfolgenden Welle, sein Druck auf diese Theilchen bleibt also sehr geringe, oder kommt vielleicht gar nicht zur Wirksamkeit.

Fig. 12 zeigt die verschiedenen Stellungen, welche ein Wasserfaden beim Vorübergange einer Welle nach und nach einnimmt, und zwar ist derselbe so weit nach oben verlängert, dafs er die gewöhnliche Cycloïde, also die obere Linie in Fig. 10 als Wellenlinie darstellen würde. So lange das Wasser sich in Ruhe befand, stand er senkrecht und zwar reichte er bis nahe an den Mittelpunkt des Kreises herauf, den sein oberes Ende beschreibt. Während der Wellenbewegung verlängert und verkürzt er sich abwechselnd und neigt sich nach vorn und nach hinten, wie die verschiedenen Linien der Figur angeben. Um seine Stellungen deutlicher erkennen zu lassen und um Verwechselungen vorzubeugen, sind die fünf Linien, welche den Faden auf seinem Rückgange zeigen, punktirt angegeben, die sämmtlichen Linien bezeichnen aber nur die Mittellinien des Fadens ohne Rücksicht auf seine Breite, oder auf die Fläche, die er einnimmt.

Fig. 13 endlich zeigt die sämmtlichen Wasserfäden, wie sie in demselben Zeitmomente in der ganzen Ausdehnung einer Welle sich gestalten, und wenn man davon absieht, dafs diese Fäden eine unendlich kleine Breite oder Dicke haben, so ist jeder Faden durch die Fläche zwischen je zwei Linien angedeutet. Man bemerkt hier, dafs die Fäden, welche den obern Scheitel der Welle bilden, in dem untern Theile der Zeichnung etwas schmaler sind, als diejenigen, die zum untern Scheitel gehören. Höchst auffallend giebt sich diese Verschiedenheit aber in der Nähe der Oberfläche zu erkennen. Die Figur mufste sogar mit einer gestreckten Cycloïde abgeschlossen werden, weil die Fäden sonst im obern Scheitel in scharfe Spitzen ausgelaufen und die Scheidungslinien zusammengefallen wären. Die hier dargestellten verschiedenen Fäden bezeichnen aber auch die verschiedenen Formen und Stellungen, welche derselbe Faden nach und nach einnimmt. Man denke eine Wellenlänge λ in soviel Theile getheilt, als die Periode der Welle τ Zeitelemente dt enthält. Und vor dem Beginne der Wellenbewegung, also zur Zeit, wo alle Fäden senkrecht standen und gleich lang, folglich auch gleich breit waren, seien sie durch lothrechte Scheidungslinien von einander getrennt

worden. Tritt alsdann die Wellenbewegung ein, so bleiben diese Fäden noch immer von einander getrennt und jeder einzelne behält sein ursprüngliches Volum, während er an die beiden benachbarten sich überall anschliefst. Wie er sich verlängert oder verkürzt, mufs seine Breite in entsprechender Weise ab- oder zunehmen. Letzteres geschieht aber nicht gleichmäfsig in der ganzen Höhe, vielmehr tritt diese Veränderung vorzugsweise in der Nähe der Oberfläche ein. Die Breite jedes Fadens vor dem Eintritt der Wellenbewegung war gleich cdt. Nimmt man nun an, dafs diese in Fig. 13 dargestellte Ebene, der Richtung der Wellenbewegung entgegen mit der Geschwindigkeit c fortgeschoben wird, so dafs sie also in jedem Zeitelemente dt um die ursprüngliche Breite eines Fadens, also um cdt zurückgeht, so rückt derselbe Faden jedesmal an die Stelle, welche die Figur für den nächst folgenden zeigt, und die verschiedenen Stellungen und Verbreitungen oder Verengungen, die derselbe Faden nach und nach annimmt, kann man daher in dieser Figur erkennen. Die Figur umfafst indessen keineswegs diese Veränderungen vollständig, vielmehr setzen sie sich noch weiter abwärts fort, obwohl sie hier immer geringer werden. Beim Vorübergange eines obern oder untern Wellenscheitels befindet sich die Mittellinie des Fadens an ihrer ursprünglichen Stelle und steht senkrecht. An allen zwischen liegenden Punkten rückt indessen der Fufs des Fadens, wie die Figur zeigt, nach der einen oder der andern Seite, und neigt sich zugleich vor- oder rückwärts, wie dieses sich auch aus Figur 12 ergiebt.

Die vorstehende mitgetheilte Wellentheorie rührt von Franz Gerstner in Prag her, der sie bereits vor 60 Jahren bekannt machte.*) Die Herleitung, die er wählte, ist indessen von der hier gegebenen wesentlich verschieden, denn zunächst entwickelt Gerstner seine Theorie nicht für die fortschreitenden, sondern für die stehenden Wellen, wie sich solche unterhalb starker Wasserstürze mehr oder weniger auffallend zu bilden pflegen (Handbuch der Wasserbaukunst II. Theil, II. Band, Seite 435). In solchen bleibt die Wellenform unverändert an derselben Stelle, die Wassermasse dagegen, die mit

*) Theorie der Wellen. In den Abhandlungen der Königl. Böhmischen Gesellschaft der Wissenschaften für 1802. Auch besonders gedruckt, Prag, 1804 und in Gilbert's Annalen, Band 32 und in Weber's Wellenlehre wörtlich aufgenommen.

grofser Geschwindigkeit zufliefst, wird plötzlich gehemmt, schwillt daher stark an und diese Anschwellung veranlafst demnächst wieder einen beschleunigten Abflufs, so dafs eine zweite, auch wohl eine dritte und vierte schwächere Welle sich bildet. Die Erscheinung ist also unbedingt der vorstehend untersuchten analog und der Unterschied beruht darin, dafs in diesem Falle die Welle unverrückt stehn bleibt und die Wassermasse, bald verzögert bald beschleunigt, die Querschnitte zwischen den einzelnen Wellenlinien Fig. 10 durchläuft. Die Uebertragung der in solcher Art gefundenen Gesetze auf die Erscheinung der fortschreitenden Wellen ist indessen nicht vollständig motivirt. Aufserdem aber erregt die nicht gehörig begründete Voraussetzung Bedenken, dafs die Oberfläche jeder einzelnen Schicht, oder jede einzelne Wellenlinie durchweg einem gleich starken Drucke ausgesetzt sei. Gerstner sagt, die Linien, welche gleichem Drucke ausgesetzt sind, bezeichnen zugleich die Wege, in welchen die Wassertheilchen sich bewegen, denn, wenn ein Theilchen von dieser Linie abweichen sollte, so würde eine Kraft vorhanden sein müssen, welche dieses Verschieben bewirkte, und sonach würde der Druck von beiden Seiten nicht gleich grofs sein. Dafs dieses Räsonnement bereits von andrer Seite nicht für zutreffend erachtet ist, führt auch Weber an. Die vorstehende Auffassung und Erörterung der ganzen Erscheinung dürfte daher unmittelbarer geführt und vollständiger begründet sein. Jedenfalls hat Gerstner das Verdienst, die Aufgabe gelöst zu haben, ohne dafs er die Bedingung unendlich niedriger Wellen einführte. Airy ist in neuerer Zeit *) genau zu denselben Resultaten für Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe gelangt und zwar auf einem streng systematischen Wege, doch bezieht sich seine Untersuchung nur auf Wellen von unendlich kleiner Höhe, er geht also von einer Voraussetzung aus, die in diesem Falle nicht nöthig war.

Indem die entwickelten Gesetze der Wellenbewegung nur für unendliche Wassertiefen gelten, so dürfte es nicht befremden, wenn sie an die Beobachtungen sich nicht anschliefsen, weil diese jedesmal bei endlicher und oft sogar bei sehr geringer Tiefe angestellt sind. Nichts desto weniger zeigen sie eine Uebereinstimmung, wie man sie bei der Unsicherheit der Messungen und der

*) Airy, Tides and Waves. Encyclopädia metropolitana. Vol. V. pag. 282 ff.

Mess-Apparate irgend erwarten kann. Es ergiebt sich also, dafs die gefundenen Gesetze, soweit sie die Bewegung der obern Wasserschichten betreffen, auch bei endlicher Tiefe gelten. In welcher Weise die Bewegung in der Nähe des Bodens erfolgt, bleibt der spätern Untersuchung vorbehalten. Ich werde zunächst alle Beobachtungen, die mir bekannt geworden sind, mittheilen.

Weber benutzte zwei Glaskasten oder Wellenrinnen, wie er sie nannte, in denen er die Wellen erregte. Die gröfsere Rinne, in welcher die wichtigeren Beobachtungen angestellt wurden, war 6 Fufs lang, $2\frac{1}{2}$ Fufs hoch und 1,12 Zoll weit. Sie wurde 22 bis 23 Zoll hoch mit Wasser angefüllt, und die Wellen wurden dadurch erregt, dafs an einem Ende eine Röhre von 0,48 Zoll Weite 9 Zoll tief eingetaucht, alsdann in der obern Oeffnung geschlossen und bis an die Oberfläche gehoben wurde. Sobald man nun die obere Oeffnung plötzlich frei werden liefs, so stürzte der Wassercylinder heraus und veranlafste die Wellenbewegung. Es war dafür gesorgt worden, dafs sehr kleine Körperchen reichlich im Wasser schwebten, und die Bewegungen, die sie machten, wurden gemessen. Die Resultate waren:

Tiefe unter der Oberfläche.	vertikaler Durchmesser der Bahn.	horizontaler Durchmesser der Bahn.
1 Linie	0,8 Linien	1,14 Linien
3 Zoll	0,4 -	0,75 -
6 Zoll	0,32 -	0,60 -
9 Zoll	0,20 -	0,40 -
12 Zoll	0	0,40 -
15 Zoll	0	0,30 -
18 Zoll	0	0,42 -
21 Zoll	0	0,60 -

Die in verschiedenen Tiefen schwebenden Theilchen bewegen sich also in gewissen Bahnen, die an der Oberfläche am gröfsten sind, nach dem Boden hin aber kleiner werden. Sehr bedeutende Unregelmäfsigkeiten zeigte diese Beobachtung unverkennbar, namentlich in der Zunahme der horizontalen Durchmesser in den gröfsten Tiefen. Aufserdem findet eine wesentliche Abweichung gegen die gefundenen Gesetze in sofern statt, als die Bahnen nicht kreisförmig, sondern flach elliptisch sind. Diese Anomalien dürfen indessen nicht befremden, da in dem Apparate und bei der gewählten

Art der Anregung die Wellenbewegung sich nicht regelmäfsig einstellen konnte. Die sehr geringe Breite der Rinne war gewifs von nachtheiligem Einflufs. Der Wassercylinder stürzte nämlich lothrecht herab, er hatte also eine Bewegung, die sich der Wellenbewegung nicht anschlofs, und konnte daher diese nur unregelmäfsig darstellen. Ein grofser Uebelstand war es endlich, dafs jedesmal nur eine einzige mefsbare Welle dargestellt wurde. Nach den Zeichnungen, in denen Weber die Wege der schwebenden Theilchen angiebt, erhielten dieselben einen überwiegenden Impuls in horizontaler Richtung, so dafs sie nach Vollendung des Umlaufes nur etwa auf die halbe Länge des in dieser Richtung durchlaufenen Weges zurückkehrten. Aus der Röhre flossen jedesmal 1,6 Cubikzoll Wasser aus, diese mufsten bei ihrer Verbreitung in der Rinne die nächsten Wasserfäden um 0,72 Linien, und die in der Mitte der Rinne befindlichen Fäden, auf welche die Beobachtung sich bezog, nahe um jene 0,4 Linien versetzen, welche in den Messungen annähernd sich immer wiederholen. Wenn sonach diese Beobachtungen auch keineswegs die obigen Gesetze bestätigen, so deuten sie doch mit Rücksicht auf die erwähnten störenden Einflüsse den Eintritt der entwickelten Bewegungen ungefähr an.

Viel wichtiger sind die Beobachtungen, welche hin und wieder im offenen Meere und in Meeresbuchten an Wellen angestellt sind. Die Messungen betreffen aufser der Höhe der Wellen oder 2ϱ, ihre Längen oder λ und ihre Geschwindigkeiten c. Die beiden letzten Gröfsen lassen sich noch am genauesten ermitteln, obwohl auch hierbei eine grofse Sicherheit gewifs nicht erreicht werden kann, da namentlich in der Bucht von Plymouth das bereits oben erwähnte plötzliche Verschwinden der Wellen und das Auftreten von neuen Systemen sehr auffallend in kurzen Zwischenzeiten sich immer wiederholte.

William Walker*) stellte in der Bai von Plymouth bei Wassertiefen von 39 bis 48 Fufs Rheinländisch vierzehn Beobachtungen an, wobei die Längen der Wellen 107 bis 447 Fufs und die Geschwindigkeiten 19,7 bis 44,7 Fufs Rheinl. betrugen. Berechnet man die Längen der Wellen aus den Geschwindigkeiten, so findet man sie meist kleiner, als die beobachteten, in drei Fällen aber gröfser, und

*) The Civil Engineer and Architect's Journal. 1846. Pag. 109.

zwar in einem Falle sogar um 30 Procent. Nach allen Beobachtungen sind die berechneten Wellenlängen durchschnittlich um 11 Procent kürzer, als sie gemessen waren.

Bei einer Ueberfahrt über den Atlantischen Ocean stellte Stanley*) auf dem Kgl. Schiffe Rattlesnake bei heftigem Winde und grofsentheils nach vielfach wiederholten Schätzungen, die unter sich um 30 Procent und mehr abwichen, sieben vollständige Beobachtungen an. Die Wellenlängen betrugen 192 bis 332 Fufs und die Geschwindigkeiten 36 bis 45 Fufs Rheinländisch. Berechnet man die ersteren aus den Geschwindigkeiten, so stellen sie sich in allen Fällen zu grofs heraus, nämlich um 11 bis 34, durchschnittlich um 27 Procent.

Endlich theilt Scoresby**) eine Beobachtung mit, die er gleichfalls im Atlantischen Ocean gegen das Ende eines ungewöhnlich heftigen Sturmes anstellte, der 36 Stunden angehalten hatte. Die Wellen waren durchschnittlich 26 Fufs, zuweilen 30 Fufs hoch. Ihre Geschwindigkeit giebt er zu 46,5 und ihre Länge zu 534 Fufs an, Alles auf Rheinländisches Maafs reducirt. Berechnet man die Länge aus der Geschwindigkeit, so findet man sie nur 435 Fufs, also um 19 Procent zu klein.

Diese sämmtlichen Beobachtungen vertheilen sich also nach beiden Seiten um die Resultate, zu welchen die obige Formel führt, und wenn man den Durchschnitt aus allen nimmt, so schliefsen sie sich sehr annähernd daran an. Eine grofse Uebereinstimmung war aber wegen der Unsicherheit der Messungen namentlich auf einem in der Fahrt begriffenen Schiffe nicht zu erwarten.

Ich führe noch eine Beobachtung an, die der Lootsen-Commandeur Knoop mit grofser Vorsicht und unter viel günstigeren Umständen auf dem Haffe in der Nähe von Swinemünde anstellte. Die Tiefe war daselbst 14 Fufs. Es wurden zwei Festpunkte gebildet, der eine durch die tief und sicher eingesteckte Peilstange und der andere durch ein vor zwei Draggern liegendes Boot. Letzteres wurde soweit zurückgezogen, dafs ein freier Zwischenraum bis zur Stange von 80 Fufs blieb, wie die darüber ausgezogene Logleine ergab. Von einem Dampfboote aus, das zur Seite ankerte, wurden die

*) The Civil Engineer and Architect's Journal. 1848. Pag. 310.
**) The Civil Engineer and Architect's Journal. 1850. Pag. 300.

Zeiten beobachtet, in welchen derselbe Wellenscheitel von der Spitze des Bootes nach der Peilstange lief. Nach 22 einzelnen Beobachtungen geschah dieses in $6\frac{1}{2}$ bis 8 Secunden, durchschnittlich in 7,205 Secunden. Die Geschwindigkeit der Wellen war also 11,104 Fufs. Die Länge einer Welle oder der Abstand zweier Scheitel liefs sich gleichfalls vom Dampfboote aus, sowol gegen die bekannte Länge des Bootes, als auch an der eingetheilten Logleine sehr sicher beurtheilen, und ergab sich aus wiederholten Vergleichen gleich 25 Fufs. Berechnet man die Wellenlänge aus der Geschwindigkeit, so findet man $\lambda = 24{,}776$, also sehr genau übereinstimmend.

Es bestätigt sich daher die vorstehend entwickelte Wellentheorie durch die Erfahrung selbst wenn die Wassertiefen nur mäfsig sind. Man mufs aber annehmen, dafs in der Nähe des Grundes ein Uebergang in eine andre abweichende Bewegung statt findet, welche auf die Beziehung zwischen der Geschwindigkeit und Länge der Welle keinen Einfluſs hat.

Ein sehr wichtiger Umstand ist bisher nicht berührt worden, nämlich die Frage, in welchem Maafse die Wellen sich ausbilden, oder welches Verhältnifs zwischen der Länge und Höhe der Wellen, also zwischen 2ϱ und λ sich darstellt. Wäre die Wellenlinie eine gewöhnliche Cycloïde, in welchem Falle ϱ oder der Radius der Bahnen, in denen die Theilchen der Oberfläche sich bewegen, gleich r wäre, so würde die Höhe zur Länge sich wie $1 : \pi$ verhalten. Solche Höhe erreicht die Welle aber niemals. Jenes Verhältnifs stellt sich vielmehr im äufsersten Falle nach den vorstehend erwähnten Beobachtungen von Stanley wie 1 : 12, gemeinhin ist es noch kleiner und nach der sorgfältigen Messung von Scoresby nur wie 1 : 20.

Wenn der Wind dem Wasser eine gewisse lebendige Kraft mittheilt, so können die verschiedensten Wellenlängen sich bilden, und die Vermuthung liegt nahe, dafs ein solches System sich wirklich darstellen wird, bei dem die gegenseitige Reibung der Wasserfäden an einander in einer vollen Wellenlänge vergleichungsweise gegen die derselben Wassermasse mitgetheilte lebendige Kraft ein Minimum ist. Ich habe diese Rechnung in der bereits oben angeführten academischen Abhandlung mitgetheilt. Die lebendige Kraft fand ich

$$L = c^3 \varrho^2 \pi$$

und die Reibung

$$R = \frac{4}{9} \cdot \frac{kc}{r^2} \varrho^3$$

wobei ich nach meinen früheren Untersuchungen*) voraussetzte, die Reibung sei gleich dem Producte aus der reibenden Fläche in die erste Potenz der relativen Geschwindigkeit, multiplicirt mit einem constanten Faktor k. Diese Werthe ergaben aber, dafs jenes Minimum eintritt, wenn ϱ, also die Höhe der Wellen, unendlich klein, oder r, also die Länge der Wellen, unendlich grofs wird. Dieses erklärt sich dadurch, dafs gerade in diesem Falle das Ueberneigen der Fäden, welches die stärkste relative Bewegung veranlafst, unmerklich klein wird.

Hierin liegt gewifs der Grund, weshalb die Wellenlinien so weit von der gewöhnlichen Cycloïde abweichen, jedenfalls ist aber die Geschwindigkeit des Windes von überwiegendem Einflusse auf diesen Theil der Erscheinung. Der Wind verstärkt nach und nach die Wellen, wie schon oben gezeigt ist, die Geschwindigkeit der Wellen kann also nie gröfser, als die des Windes werden und sie wird sogar immer bedeutend hinter dieser zurückbleiben, weil durch die verschiedenartigen Wellensysteme, die gleichzeitig auftreten, und durch die Reibung ein grofser Theil der Kraft zerstört wird. Man nimmt an, dafs bei Orkanen die Geschwindigkeit des Luftstromes bis 100 Fufs beträgt, ist sie aber auch nur halb so grofs, so ist der Wind schon sehr stark, wie man sich leicht überzeugen hann, wenn man auf einer Locomotive steht, die in der Stunde 7 Deutsche Meilen zurücklegt, und nahe diese Geschwindigkeit hatten die Wellen nach Scoresby's Messung. Durch die Geschwindigkeit ist die Länge der Welle gegeben, und deren Höhe bildet sich in dem Maafse aus, dafs die Bewegung, abgesehn von der Reibung und andern Verlusten, die lebendige Kraft aufnimmt, welche der Wind dem Wasser mittheilt.

Um die Wellenbewegung bei unendlicher Tiefe an einem Beispiele zu erläutern, wähle ich Wellen, die zu den stärkeren gehören, die Stanley beobachtete, die aber doch bedeutend schwächer waren, als die von Scoresby gemessenen. Die Wellenlänge sei

*) Ueber den Einfluſs der Temperatur auf die Bewegung des Wassers in Röhren, in den Abhandlungen der Kgl. Academie der Wissenschaften. Berlin, 1854.

gleich 300 Fufs und die Höhe der Welle oder die Erhebung des obern Scheitels über den untern gleich 20 Fufs, also

$$\lambda = 300$$
$$\varrho = 10$$

Hieraus ergiebt sich die Geschwindigkeit der Welle.

$$c = 38{,}637$$

Die Welle legt demnach in der Stunde $5\frac{1}{4}$ Deutsche Meilen zurück, oder sie läuft so schnell, wie ein gewöhnlicher Personenzug auf der Eisenbahn. Die Wassertheilchen in der Oberfläche haben dagegen nur die Geschwindigkeit von 8,0920 Fufs in der Secunde, oder von $1\frac{1}{4}$ Meilen in der Stunde. Diese Theilchen bewegen sich aber in kreisförmigen Bahnen, daher in den obern Wellenscheiteln, übereinstimmend mit der Richtung des Windes, und in den untern, derselben entgegengesetzt. Die Geschwindigkeiten wechseln in allmähligen Uebergängen und stellen sich nach $7\frac{1}{4}$ Secunden wieder wie früher dar, indem

$$\tau = 7{,}7646 \text{ Secunden.}$$

Ferner ist $r = 47{,}747$ Fufs

und aus r und ϱ findet man die Höhenlage des Mittelpunktes desjenigen Kreises, der die volle Cycloïde darstellen würde, nämlich

$$z = 74{,}643 \text{ Fufs.}$$

Der Spiegel des Meeres müfste also um dieses Maafs erhöht werden, wenn die scharf auslaufenden obern Scheitel sich zeigen sollten, durch welche die gewöhnliche Cycloïde sich von der gestreckten unterscheidet. Diese Scheitel würden sich aber $95\frac{1}{2}$ Fufs über die dazwischen liegenden untern Scheitel erheben, oder dieses würde die ganze Wellenhöhe sein.

Endlich ist noch die Abnahme der Bewegung bei gröfserer Tiefe zu untersuchen. In der Oberfläche durchlaufen die Wassertheilchen Bahnen, deren Radien 10 Fufs messen, sie bewegen sich also auf und ab und hin und her um 20 Fufs. In der Tiefe von 50 Fufs ist dagegen ϱ nur noch 3,5092 oder die hin und her gerichtete Bewegung hat sich schon auf 7 Fufs ermäfsigt. In der Tiefe von

100 Fufs	ist	$\varrho = 1{,}2315$ Fufs
200 -		$= 0{,}1516$ -
300 -		$= 0{,}0186$ -
400 -		$= 0{,}0023$ -
500 -		$= 0{,}0003$ -

Die Bewegung vermindert sich daher in der Tiefe von 200 Fufs schon auf Schwankungen von $3\frac{1}{4}$ Zoll, die bei der langen Periode der Welle kaum noch zu bemerken sein möchten. Indem dieses Beispiel sich aber auf einen heftigen Sturm bezieht, so erklärt es sich, dafs Taucher schon in der Tiefe von etwa 30 Fufs einen mäfsigen Wellenschlag der Oberfläche nicht mehr empfinden.

§. 3.

Wellen auf Wasserflächen von geringer, aber constanter Tiefe.

Unter den verschiedenen Untersuchungen über die Bewegung der Wellen auf Wasserflächen von endlicher Tiefe mufs vorzugsweise die bereits erwähnte Abhandlung des Englischen Astronomen Airy (Tides and Wawes) genannt werden, welche den Gegenstand strenge wissenschaftlich behandelt, auch nach der Ansicht des Verfassers zu Resultaten führt, die mit den von Scott Russell angestellten Beobachtungen, die ich später berühren werde, genügend übereinstimmen. Dabei ist jedoch die Voraussetzung eingeführt, dafs die Wellen nur eine unendlich kleine Höhe haben, und hiedurch wird die Bedingung der Continuität, die jedenfalls vorzugsweise berücksichtigt werden mufs, so untergeordnet, dafs die Verhältnisse sich ganz anders gestalten, als bei Wellen von mefsbarer Höhe. Indem aber selbst auf sehr flachen Gewässern Wellen von merklicher Höhe sich regelmäfsig ausbilden, so folgt hieraus, dafs auch diese bestimmten Gesetzen folgen. Die von Airy hervorgehobene Uebereinstimmung seiner Theorie mit jenen Beobachtungen ist aber sehr zweifelhaft, Scott Russell bestreitet dieselbe und meint, seine Beobachtungen seien zu diesem Zwecke ganz willkührlich nach verschiedenen Methoden verändert worden.

Airy findet, dafs die unter einander liegenden Bahnen, welche die einzelnen Elemente desselben Wasserfadens durchlaufen, Ellipsen sind, die sämmtlich gleiche absolute Excentricität haben, oder in denen die beiden Brennpunkte jedesmal gleich weit von einander entfernt sind, so dafs die horizontale halbe Achse α am Boden des Bassins gleich ε wird, während die vertikale halbe Achse hier verschwindet. Aufserdem soll, wenn man die bekannten Gleichungen der Ellipse

$$x = \alpha \operatorname{Sin} \varphi$$
$$y = \beta \operatorname{Cos} \varphi$$

zum Grunde legt, in jeder einzelnen Bahn der Winkel φ, oder die excentrische Anomalie, der Zeit entsprechend wachsen, so dafs $\frac{d\varphi}{dt}$ constant ist.

Vergleicht man diese Resultate mit der geometrischen Bedingung, indem man die Untersuchung in derselben Weise wie oben führt, so ergeben sich auffallende Widersprüche.

Ein kleiner Theil des Fadens durchlaufe die dünne Schicht, die zwischen zwei Wellenlinien eingeschlossen ist, von denen die obere von einer elliptischen Bahn herrührt, deren halbe Achsen α und β sind, die untere dagegen von einer, die $\alpha - \delta\alpha$ und $\beta - \delta\beta$ zu halben Achsen hat. Die mechanischen Bedingungen ergeben nun, dafs beide Bahnen nicht in gleichen Zeiten durchlaufen werden, dafs vielmehr der Winkel φ, wenn er für die obere 2π geworden ist, für die untere noch nicht diese Gröfse erreicht hat, also um $\delta\varphi$ kleiner ist. Der Winkel φ', der für die letzte gilt, ist daher jederzeit

$$\varphi' = \varphi - \frac{\varphi}{2\pi}\,\delta\varphi$$

Man findet hiernach die Coordinaten der obern Wellenlinie

$$x' = \mathrm{ct} - \alpha \operatorname{Sin} \varphi$$
$$y' = \beta \operatorname{Cos} \varphi$$

und die der untern

$$x'' = \mathrm{ct} - (\alpha - \delta\alpha) \operatorname{Sin} \varphi'$$
$$y'' = (\beta - \delta\beta) \operatorname{Cos} \varphi'$$

Hierdurch werden die Punkte bezeichnet, welche nach Verlauf der Zeit t gleichzeitig von beiden Bahnen berührt werden, vorausgesetzt, dafs in der Zeit $t = o$ beide Endpunkte des Elementes in den obern Scheiteln ihrer Bahnen sich befanden.

Das untersuchte Wassertheilchen nimmt nun jedesmal einen Theil der Schicht ein, dessen horizontale Länge gleich dx', und dessen vertikale Höhe gleich

$$\delta z + (y' - y'') - (x'' - x') \operatorname{tgt} \psi$$

ist, wenn ψ den Winkel bezeichnet, den die Wellenlinie an dieser Stelle mit dem Horizont macht. Mit Rücksicht auf das Zeichen von dy' ist

$$\operatorname{tgt} \psi = -\frac{dy'}{dx'}$$

das Flächenelement ist daher

$$df = (\delta z + y' - y'')\, dx' + (x'' - x')\, dy'$$

Der Einfachheit wegen vergleiche man nur die Flächen an den Endpunkten der Achsen mit einander.

I. für $\varphi = o$ ist $df = (\delta z + \delta\beta)(c\,dt - \alpha\, d\varphi)$

II. für $\varphi = \pi$ $\quad df = (\delta z - \delta\beta)(c\,dt + \alpha\, d\varphi)$

III. für $\varphi = \frac{1}{2}\pi$ $\quad df = (\delta z - \frac{1}{4}\beta\delta\varphi)\, c\,dt - \beta\delta\alpha\, d\varphi$

IV. für $\varphi = \frac{3}{2}\pi$ $\quad df = (\delta z + \frac{3}{4}\beta\delta\varphi)\, c\,dt - \beta\delta\alpha\, d\varphi$

Die Ausdrücke I und II vereinigen sich, wenn

$$\delta\beta = \frac{\alpha\, d\varphi}{c\,dt}\,\delta z$$

und sie geben alsdann

$$df = c\,dt\,.\,\delta z - \alpha\delta\beta\,.\,d\varphi$$

Die Ausdrücke III und IV sind nur in Uebereinstimmung zu bringen, wenn

$$\beta\, c\,dt\,.\,\delta\varphi = o$$

das heifst wenn $\delta\varphi = o$, oder wenn im Widerspruch zur mechanischen Bedingung die Winkel φ in beiden Bahnen stets gleich grofs bleiben. Alsdann erhält man

$$df = c\,dt\,.\,\delta z - \beta\,\delta\alpha\,.\,d\varphi$$

Verbindet man diesen Werth von df mit dem aus I und II gefundenen, so folgt

$$\alpha\delta\beta = \beta\delta\alpha$$

$$\frac{\delta\beta}{\beta} = \frac{\delta\alpha}{\alpha}$$

folglich $$\beta = n\,.\,\alpha$$

wo n irgend eine constante Zahl ist, die auch gleich 1 sein kann. Sobald β gleich Null wird, so mufs auch α verschwinden.

Führt man in die Gleichung

$$\alpha\delta\beta = \beta\delta\alpha$$

die Werthe $$\delta\beta = \frac{\alpha\, d\varphi}{c\,dt}\,.\,\delta z = \frac{\alpha}{r}\,\delta z$$

und $$\beta = \alpha$$

ein, so kommt man wieder auf die oben hergeleitete Differenzialgleichung

$$\delta z = r\,\frac{\delta\alpha}{\alpha}$$

woraus sich die Beziehung zwischen dem Radius α und der Wassertiefe z für Wellen von unendlicher Tiefe ergiebt.

Wenn man also, wie Airy gethan, die Wassertiefe endlich, die Wellenhöhe aber unendlich klein annimmt, so ist das Resultat dasselbe, als wenn man jene unendlich grofs und diese endlich angenommen hätte. Die Bewegung erfolgt aber, wie meine Beobachtungen sehr augenfällig zeigten, in ganz andrer Weise, und die Wellen stellen sich wirklich in der Art dar, dafs die Anschwellungen aller unter einander liegenden Schichten zusammentreffen, also durch ihre Verbindung die Welle gebildet wird, während nach den Resultaten, zu denen Airy gelangt, die Geschwindigkeit der Welle

$$c = \sqrt{2g\,\frac{\beta}{\alpha}\,r}$$

sein sollte, also für alle Schichten von dem Verhältnisse zwischen β und α abhängig, und daher verschieden wäre. Die Wellen würden also, wenn sie auch den Raum vollständig füllen könnten, nicht zusammentreffen und müfsten sich also gegenseitig wenigstens theilweise zerstören. Diesen Widerspruch hat der Verfasser auch bemerkt, doch glaubt er bei der vorausgesetzten unendlich kleinen Höhe der Wellen denselben dadurch zu beseitigen, dafs er die Geschwindigkeit der Welle allein nach den Anschwellungen der obern Schicht bestimmt.

Indem es darauf ankommt, die Bewegungen der Wassertheilchen kennen zu lernen, wie sie wirklich sich darstellen, so ging ich zunächst zur Beobachtung der Erscheinung über. Der Apparat, den ich benutzte, ist in Fig. 3 und 4 in der Seitenansicht und im Grundrisse dargestellt. Das Bassin, in welchem die Wellen erregt wurden, war wieder eine Rinne. Ihre Länge maafs 12 Fufs und ihre Breite, so wie die Höhe 4 Zoll. Sie war aus starkem Zinkblech sorgfältig geformt, und in den scharf abgefaseten Endflächen der einzelnen Bleche zusammengelöthet. Um ein Ausbauchen der Seitenwände zu verhindern, waren diese durch aufrechtstehende starke Bretter unterstützt, die an die Bohle, welche die Rinne trug, mit Holzschrauben befestigt waren. In der Mitte der Rinne waren in beiden Seitenwänden und zwar einander gegenüberstehend Oeffnungen von $3\frac{1}{2}$ Zoll Breite und Höhe eingeschnitten, welche aufgekittete Glasscheiben schlossen. Hiedurch wurde die Gelegenheit geboten, die in der Wassermasse eintretende Bewegung zu beobachten.

Indem die rücklaufenden Wellen überaus störend waren, und Anfangs sogar jede Beobachtung vereitelten, so kam es darauf an,

die Wellenbewegung am Ende der Rinne zu zerstören. Die Anbringung eines erweiterten Bassins war von wenig Nutzen, auch der Versuch, die Wellen auf eine geneigte Fläche auflaufen zu lassen, hatte nur geringen Erfolg. Am vortheilhaftesten zeigten sich kleine Blechrinnen, die lothrecht auf dem Boden so befestigt waren, dafs ihre hohlen Seiten den Wellen entgegengekehrt standen. Indem sie die Wellen auffingen, so verursachten sie zwar gleichfalls jede eine zurücklaufende Welle, da sie aber auf etwa 2 Fufs Länge vertheilt waren, so traten die partiellen Rückläufe in ganz verschiedenen Zeiten ein und vereinigten sich nicht mit einander. Die Erscheinung wurde hierdurch viel einfacher und regelmäfsiger, ich mufste indessen auch an dem andern Ende der Rinne dieselbe Vorrichtung anbringen, weil sonst die Erregung der Wellen zu ungleichmäfsig wurde. Die Figuren zeigen diese letzten Rinnen.

Zur Erregung der Wellen benutzte ich eine Vorrichtung, die wesentlich von derjenigen abwich, die Weber angewendet hatte. Es kam nämlich darauf an, nicht eine einzelne, sondern eine lange Reihe von möglichst gleichmäfsigen Wellen darzustellen, an welchen man dieselben Erscheinungen wiederholentlich beobachten und zugleich die verschiedenen erforderlichen Messungen vornehmen konnte. Bewegt man mit der Hand eine Scheibe, welche den Querschnitt der Rinne beinahe ausfüllt, schnell hin und her, so bilden sich an dieser Stelle Wellen, die von hier aus nach beiden Enden der Rinne laufen. Es mufste also durch eine mechanische Vorrichtung solche Scheibe schnell vor und zurück geschoben werden, es war aber nothwendig, die Geschwindigkeit derselben auch beliebig verstärken oder schwächen zu können, und ebenso mufste auch der jedesmalige Weg beliebig zu verlängern oder zu verkürzen sein, um die nöthigen Aenderungen nicht auszuschliefsen. Indem ich endlich vermuthete, dafs die Wasserfäden während der Wellenbewegung nicht nur vor- und zurückgehn, sondern sich auch zugleich in der jedesmaligen Richtung ihres Weges überneigen, und ich schon durch die Scheibe diejenigen Bewegungen den Fäden mitzutheilen wünschte, die sie wirklich annehmen, so mufste die Scheibe auch in der Art geführt werden können, dafs ihr oberer und unterer Theil beliebig verschiedene Wege beschreiben konnte.

Die Scheibe, welche den Querschnitt der Rinne soweit füllt, dafs sie ohne Seitenreibung hin- und hergezogen werden kann,

wurde hiernach durch zwei Zugstangen mit einem aufrecht stehenden Hebel verbunden. Die obere horizontale Zugstange spaltet sich und fafst die Scheibe an beiden Seiten, um eine Drehung derselben zu verhindern. Die untere, welche die Scheibe möglichst tief fafst, kann dagegen an verschiedenen Stellen des Hebels befestigt werden. Geschieht dieses mittelst desselben Bolzen, der die obere Stange führt, so schiebt sich die Scheibe während der Bewegung nur hin und her ohne ihre Neigung zu verändern. Wird diese Zugstange dagegen mit ihrem Einschnitte unmittelbar auf die Achse des Hebels gelegt, so bleibt der untere Rand der Scheibe beinahe unverändert an derselben Stelle, und die Scheibe neigt sich nur hin und her. Zwischen diesen Extremen konnten aber noch sehr serschiedene Befestigungsarten der untern Zugstange am Hebel gewählt werden, wodurch andere Verhältnisse zwischen der Neigung und der Länge des Weges sich darstellten. Jedenfalls mufste die Scheibe immer lothrecht stehn, wenn der Hebel solchen Stand hatte.

Der Hebel war mit einer längeren Achse verbunden, die möglichst nahe über dem Boden der Rinne lag. Er bestand aus zwei parallelen Messingstäbchen, in denen die Bolzenlöcher angebracht waren, woran beide Zugstangen mittelst eingesetzter Schraubenbolzen befestigt wurden. Er setzte sich indessen noch aufwärts fort, und hier griff die Lenkstange ein, die ihm die Bewegung mittheilte.

Die Lenkstange reichte bis zu einem Krummzapfen, der aus einer starken Messingscheibe heraustrat. Dieser konnte in neun verschiedenen Abständen von der Drehungs-Achse befestigt werden, und eben so viele Bolzenlöcher befanden sich diesen gegenüber in gleichen Abständen, wo ein Gegengewicht eingeschroben wurde, welches dem Gewichte des Krumzapfens nnd der halben Lenkstange gleich war.

Die erwähnte Messingscheibe war zur Vermehrung ihres Gewichtes und zur Vergröfserung ihres Drehungsmomentes noch mit einem starken Bleiringe umgeben und wog $2\frac{1}{4}$ Pfund. Sie war mit einer cylindrischen Walze aus Messing verbunden, von 4 Zoll Länge und 0,4 Zoll Dicke. Um letztere wurde der Seidenfaden gewunden, der mittelst des angehängten Gewichtes die ganze Maschine in Bewegung setzte. Dieses Gewicht hing aber nicht unmittelbar daran, vielmehr lief der Faden über einen kleinen Flaschenzug von 5 Scheiben, dessen unterer Block das Gewicht trug. Während dieses

10 Fuſs herabsank, wurden gegen 200 Windungen des Fadens abgezogen, oder eben so viele Umdrehungen machte die Messingscheibe und erregte eben so viele Wellen. Die regelmäſsige Bewegung trat indessen immer erst ein, wenn die obere Lage der Windungen abgezogen war und der Faden unmittelbar auf dem Messing-Cylinder auflag. In dieser Weise eigneten sich nur etwa 100 Wellen zu eigentlichen Beobachtungen. Durch Veränderung des angehängten Gewichtes, das 1 bis 3 Pfund betrug, konnte die Periode der Wellen vergröſsert oder verkürzt werden.

An der Walze, welche die Messingscheibe mit dem Krummzapfen trägt, befindet sich an dem entgegengesetzten Ende noch eine Elfenbeinscheibe, die mit einigen Windungen eines Schraubenganges versehn ist, in diese greifen die Zähne eines sehr leichten hölzernen Rädchen ein, das an dem vorstehenden Ende seiner Achse auch zurückgeschoben und gegen einen festen Zahn gestellt werden kann. Das Rädchen hat 50 mit Nummern versehene Zähne und wenn man es 10 oder 15 Secunden hindurch in die Schraubengewinde eingreifen läſst, so zeigt es bei dem Einstellen in den festen Zahn, wieviel Wellen in dieser Zeit erregt wurden. Die Anordnung stimmt genau mit derjenigen überein, die beim Voltmans'chen Flügel üblich ist.

Indem die Scheibe, welche die Wellen erregte, ziemlich schwer war und auf dem Boden der Rinne eine starke Reibung erfuhr, so verband ich sie mittelst eines Fadens mit einem in 2 Fuſs Abstand darüber angebrachten Hebel, an dessen anderm Arme ein Gegengewicht hing. Das Gewicht der Scheibe durfte indessen nicht vollständig aufgehoben werden, weil sonst die Scheibe, besonders wenn sie sich überneigen sollte, aus dem Wasser sprang.

Es ergiebt sich hieraus, daſs mit diesem Apparate sehr verschiedenartige Bewegungen dargestellt werden konnten. Die Scheibe lieſs sich in vertikaler Stellung hin- und herschieben, man konnte sie aber auch beliebig weit vor- und rückwärts sich überneigen lassen und sogar die Bewegung ihres untern Randes beinahe ganz hemmen. Der Weg den sie zurücklegte, hing von der Entfernung des Krummzapfens von der Achse der Messingscheibe ab, und lieſs sich innerhalb weiter Grenzen verändern. Endlich erfolgte die Bewegung um so schneller oder um so langsamer, je mehr das angehängte Gewicht vergröſsert oder vermindert wurde.

Die horizontale Aufstellung der Rinne war leicht zu prüfen, sobald man Wasser hineingofs und an verschiedenen Stellen die Tiefen maafs. Hierzu diente ein Maafsstab, der abwärts in seiner Verlängerung mit einer $3\frac{1}{2}$ Zoll langen Metallspitze versehn war. Er wurde von einem kleinen Gestelle gehalten, das auf den sorgfältig gearbeiteten obern Rand der Rinne überall aufgesetzt werden konnte. In diesem liefs er sich senkrecht auf- und abschieben und wurde in jeder Höhe durch eine schwache Feder festgehalten. Zuerst schob ich ihn jedesmal so tief herab, dafs die Spitze den Boden der Rinne berührte, alsdann hob ich ihn, bis dieselbe Spitze die Oberfläche des Wassers traf. Letzteres liefs sich sehr genau erkennen, sobald eine weifse Fläche über der Rinne befestigt und das Auge so gehalten wurde, dafs der Widerschein derselben das Spiegelbild der Spitze deutlich sehn liefs. Man konnte alsdann mit grofser Schärfe den Maafsstab soweit senken, dafs die Spitze mit ihrem Bilde zusammenfiel. Sobald erstere aber auch nur ein wenig in das Wasser eintauchte, so wurde sogleich die Oberfläche des Wassers gekrümmt, und das regelmäfsige Bild verschwand. Zum Ablesen des Maafses diente ein scharf markirter Zeiger, und mehrfache Wiederholungen derselben Messung ergaben, dafs mittelst dieses Apparates die Tiefen bis auf den hundertsten Theil eines Zolles sicher gemessen werden konnten. Diese Schärfe ergab sich jedoch als ganz entbehrlich, weil die Erscheinung selbst, namentlich in der Wellenerhebung, viel gröfsere Unregelmäfsigkeiten zeigte.

Um die Bewegung der Theilchen im Innern der Wassermasse zu erkennen, versuchte ich zunächst, wie Weber dieses auch gethan hatte, einzelne kleine schwebende Körperchen zu verfolgen. Ich mufste indessen oft lange warten, bevor solche zwischen die beiderseitigen Glasscheiben traten, und überdiefs fehlte hierbei die Gelegenheit, gleichzeitig die Beobachtung auf verschiedene Wassertiefen auszudehnen. Ich hing deshalb neben einander in verschiedenen Höhen kleine Wachskügelchen von der Gröfse eines gewöhnlichen Nadelknopfes, in welche jedesmal ein Sandkörnchen eingedrückt war. Die feinen Fäden waren 18 Zoll darüber befestigt, so dafs die Kügelchen, ohne ihre Höhe merklich zu verändern, nach vorn und hinten frei ausschwingen konnten. Hierbei zeigte sich schon sehr auffallend die wichtige Erscheinung, dafs die sämmtlichen Kügelchen und selbst die, welche beinahe den Boden berührten, beim

Vorübergange jeder Welle, soweit man es bemerken konnte, übereinstimmende horizontale Bewegungen machten. Sie nahmen jedoch sehr bald verschiedene Stellungen ein, und dieses nicht nur in der Längenrichtung der Rinne, sondern auch seitwärts, wobei die Fäden sich berührten und umschlangen, und in kurzer Zeit hatten sie sich so versponnen, dafs es die äufserste Mühe machte, und oft unmöglich war, sie wieder zu trennen.

Ich wählte deshalb eine andere Vorrichtung, nämlich eine sehr leichte Scheibe, bestehend aus einem Glimmerblättchen von 1 Zoll Breite und solcher Höhe, dafs sie den Boden beinahe berührte, und beim Vorübergange der Wellen noch so eben stets unter Wasser blieb. Das Blättchen war in der Mitte nochmals gespalten, und hier ein feiner Draht hindurchgezogen, der als Drehungs-Achse diente, welche bei dem sehr geringen Gewichte keiner weitern Befestigung bedurfte. Diese Achse ruhte mit beiden Enden in kleinen Oesen eines aus demselben Drahte gebildeten Rahmens Fig. 5. Letzterer hing an den beiden Enden eines seidenen Fadens, der etwa 2 Fufs hoch über dem Glimmerblättchen durch zwei andere Oesen an einer verschiebbaren Stange gezogen war. Diese beiden Oesen wurden jedoch bedeutend weiter von einander entfernt, als die des Rahmens, damit letzterer stets normal gegen die Bewegung der Wellen gerichtet blieb. Endlich mufste das Glimmerblättchen noch an seinem untern Ende durch ein kleines Gewicht beschwert werden, damit es in ruhendem Wasser von selbst sich lothrecht stellte. Das Blättchen wog, wenn es 2 Zoll hoch war, mit Einschlufs des daran angebrachten Gewichtes, der Achse und des Rahmens nur 34 Centigramme, und gab daher, wie ich durch sanftes Fortziehn desselben mich leicht überzeugen konnte, sehr sicher die geringsten Bewegungen im Wasser an.

Die Beobachtungen bezogen sich zunächst auf die Höhen oder die vertikalen Abstände der obern und untern Scheitel der Wellen, indem hierbei indessen grofse Verschiedenheiten sich zeigten, so genügte es vollkommen, einen Handzirkel dazu zu benutzen, der an die Glasscheibe gelehnt wurde. In derselben Weise wurde auch der Weg gemessen, den das Glimmerblättchen in einer und der andern Richtung durchlief. Ich benutzte zu der letzten Mefsung einen zweiten Cirkel, um nicht während der kurzen Dauer des jedesmaligen Versuches die Ablesung des Maafses vornehmen zu

dürfen. Aufserdem wurde die Geschwindigkeit der Wellen beobachtet, d. h. ich bezeichnete durch aufgelegte Stäbchen den Weg, den eine Welle in 3, zuweilen auch nur in 2 Secunden zurücklegte, und zwar geschah dieses nach dem Schlage einer Secundenuhr. Es darf kaum erwähnt werden, dafs diese Messung keine grofse Schärfe hatte. Endlich wurde an dem oben beschriebenen Rädchen noch die Anzahl der in einer gewissen Zeit einander folgenden Wellen beobachtet. Mit der letzten Operation wurde der Anfang gemacht, sobald die obere Lage der Fäden von der cylindrischen Walze abgelaufen war, und gemeinhin blieb nach Ausführung der andern Messungen noch hinreichende Zeit, um die Periode der Wellen nochmals zu bestimmen.

Das wichtigste Resultat, zu dem diese Versuche führten, bestand in der Wahrnehmung, dafs das Glimmer-Blättchen, das beinahe den Boden der Rinne berührte, sich nur hin und her bewegte, ohne sich abwechselnd nach vorn und rückwärts überzuneigen. Dieses geschah aber nicht nur, wenn die Scheibe, welche die Wellen erregte, so befestigt war, dafs sie dauernd ihre lothrechte Stellung behielt, sondern auch, wenn ihr unterer Rand an derselben Stelle blieb, und sie sich allein nach vorn und hinten überneigte. Diese Bewegung, welche sie dem Wasser mittheilte, konnte sich daher nicht fortsetzen und war im Abstande von 4 Fufs schon vollständig in die parallele Verschiebung der Fäden übergegangen. Es zeigte sich auch, dafs die leichten und feinen Staubmassen, die sich am Boden der Rinne bald zu sammeln pflegen, bei jeder Welle eben so weit hin und her geschoben wurden, wie das Glimmerblättchen selbst.

Besonders scharf liefs sich die Stellung dieses Blättchens beurtheilen, wenn ich es soweit zurückschob, dafs es nicht mehr zwischen den beiden Glasscheiben hing, sondern so eben hinter die undurchsichtige Wand trat. Es reflectirte alsdann das darauf fallende Licht so stark, dafs seine Stellung sehr deutlich zu erkennen war, und in dieser liefs sich durchaus keine Aenderung beim Hin- und Hergange bemerken. Zur Vergleichung spannte ich noch zwei feine Drähte in einen Rahmen, die unter dem Winkel von 2 Graden gegen einander geneigt waren. Indem ich diesen Rahmen daneben hielt, so konnte ich mich überzeugen, dafs wenn auch wirklich eine sehr geringe Neigung eingetreten wäre, diese doch gewifs nach jeder

Seite die Gröfse von 1 Grad nicht erreichte. Die Beobachtung bot indessen keine Veranlassung, solche überhaupt vorauszusetzen.

Hiernach bestätigt sich eine Aeufserung von Scott Russell, dafs nämlich bei Wellen auf geringer Tiefe die horizontalen Bewegungen der über einander liegenden Wassertheilchen gleich grofs sind. Wichtiger ist es, dafs auch de la Grange in der von ihm gegebenen Wellentheorie*) von derselben Voraussetzung ausgegangen ist. Dabei ist jedoch wieder angenommen, dafs die vertikalen Bewegungen oder die Höhen der Wellen unendlich klein sind. Ich werde versuchen, diese Beschränkung zu umgehn und zunächst zu prüfen, ob bei dieser Art der Bewegung die geometrische Bedingung auch bei endlicher Höhe der Wellen erfüllt werden kann.

Jeder einzelne Wasserfaden behält hiernach seine vertikale Stellung dauernd bei, und hieraus folgt wieder, dafs er beständig von zwei vertikalen Ebenen, oder im Längendurchschnitte der Welle von zwei vertikalen Linien begrenzt wird, er also vom Fufse bis an sein oberes Ende jederzeit gleich stark ist. Die Wellenbildung kann alsdann nur erfolgen, indem die Fäden sich abwechselnd verlängern und verkürzen, im umgekehrten Verhältnisse mufs ihre Dicke sich dabei jedesmal verändern, oder die Fäden müssen einander genähert oder entfernt werden. Hierauf beruht die horizontale Verschiebung der Fäden, die sich aus den Beobachtungen sehr deutlich erkennen läfst. Der Druck setzt sich daher in derselben Art fort, wie in einer Reihe einander berührender elastischer Körper. Die Wasserfäden werden eben so wie diese, und zwar viel auffallender, stellenweise zusammengedrängt, sie können aber nur nach oben ausweichen, daher erheben sie sich, und in Folge dieses Ueberdruckes entfernen sie sich darauf wieder von einander, wobei sie eine geringere Höhe annehmen, als sie ursprünglich hatten. Diese Bewegung kann augenscheinlich nur eintreten, wenn alle Theilchen eines Fadens abwechselnd sich erheben und sich senken. Dieses ist von de la Grange nicht berücksichtigt, indem er nur unendlich niedrige Wellen untersuchte.

Die einzelnen Wassertheilchen eines Fadens durchlaufen dem-

*) Sur la manière de rectifier deux endroits des principes de Newton, rélatifs à la propagation du son et au mouvement des ondes. Nouveaux mémoires de l'Aacadémie royale des sciences et belles lettres. Année 1786. Berlin 1788. pag. 192 ff.

nach beim Vorübergange jeder Welle wieder geschlossene Bahnen, die sämmtlich gleiche horizontale Durchmesser haben, die vertikalen Durchmesser derselben müssen aber an der Oberfläche des Wassers am gröfsten sein, in der Tiefe immer kleiner und unmittelbar über dem Boden gleich Null werden. Am einfachsten wäre es, elliptische Bahnen vorauszusetzen. Diese Annahme ist aber nicht zulässig, weil sie, wie später sich ergeben wird, die Bedingung einschliefst, dafs die Höhe der Welle gegen die Wassertiefe unendlich klein sein mufs. Diese Beschränkung entspricht aber keineswegs der wirklichen Erscheinung und selbst in meinen Beobachtungen war die Höhe der Welle zuweilen beinahe der halben Wassertiefe gleich.

Die Bahnen müssen daher andre Curven sein, und es genügt, die Gleichung der Ellipse durch Einführung eines neuen Gliedes so zu ändern, dafs sowol die obere, als auch die untere Hälfte sich etwas hebt. Hiernach lege ich für die Bahnen die Ausdrücke zum Grunde

$$x = \alpha \operatorname{Sin} \varphi$$

und

$$y = \beta \operatorname{Cos} \varphi + \gamma \operatorname{Cos} \varphi^2$$

Wie früher bedeutet hier wieder α die halbe horizontale und β die halbe vertikale Achse. Der Winkel φ zählt gleichfalls von dem durch den obern Scheitel gezogenen Lothe in der Richtung der Bewegung der Welle.

Bezeichnet c die constante Geschwindigkeit der Welle und p die Höhe, in welcher der Mittelpunkt der betreffenden Bahn über dem Boden sich befindet, so sind die Gleichungen der Wellenlinie

$$x' = ct - \alpha \operatorname{Sin} \varphi$$

$$y' = p + \beta \operatorname{Cos} \varphi + \gamma \operatorname{Cos} \varphi^2$$

Die x' bezeichnen hier die horizontalen Abstände vom obern Scheitel der Welle und die y' die Höhen über dem Boden des Bassins.

Denkt man wieder eine volle Welle von einem obern Scheitel bis zum nächstfolgenden durch Vertikal-Linien in soviel Theile eingetheilt, als die Periode der Welle oder τ Zeitelemente dt enthält, und sind aufserdem die Flächen dieser sämmtlichen Theile einander gleich; so wird der untersuchte Wasserfaden beim Vorübergange jeder Welle in den auf einander folgenden Zeitelementen nach und nach alle diese einzelnen Flächen einnehmen. Wenn er sich gerade in einer derselben befindet, so bezeichnet die nächstliegende die

Breite und Höhe, die er im folgenden Zeitelemente haben wird, sie bezeichnet aber auch seine horizontale Verschiebung, wenn man jedesmal die Wellen-Ebene um den Weg cdt weiter zieht.

Hieraus ergiebt sich die Bedingung, dafs diese sämmtlichen Flächen unter sich und zugleich dem Wasserfaden im Zustande der Ruhe gleich sind.

$$pc\,.\,dt = y'.dx'$$
$$= (p + \beta \operatorname{Cos}\varphi + \gamma \operatorname{Cos}\varphi^2)\,(c\,.\,dt - \alpha \operatorname{Cos}\varphi\,.\,d\varphi)$$

Der Einfachheit wegen setze man

$$\frac{\beta}{p} = \varrho$$

und

$$\frac{\gamma}{\beta} = \sigma$$

Man erhält alsdann

$$pc\,.\,dt = p\,(1 + \varrho \operatorname{Cos}\varphi + \varrho\sigma \operatorname{Cos}\varphi^2)\,(c\,.\,dt - \alpha \operatorname{Cos}\varphi\,.\,d\varphi)$$

Hieraus ergiebt sich

$$cdt = \frac{\alpha p}{\beta} \cdot \frac{1 + \varrho \operatorname{Cos}\varphi + \varrho\sigma \operatorname{Cos}\varphi^2}{1 + \sigma \operatorname{Cos}\varphi} \cdot d\varphi$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{\beta}{\alpha} \cdot \frac{c}{p} \cdot \frac{1 + \sigma \operatorname{Cos}\varphi}{1 + \varrho \operatorname{Cos}\varphi + \varrho\sigma \operatorname{Cos}\varphi^2}$$

Der Winkel φ wächst also nicht gleichmäfsig mit der Zeit t, und wenn man dt als constant ansieht, so ist $d\varphi$ variabel. Aus dem Ausdruck für x' ergiebt sich aber, dafs der Winkel φ in allen zu demselben Wasserfaden gehörigen Elementen jederzeit gleich grofs ist, er also auch um gleiche Werthe von $d\varphi$ in jedem Momente zunimmt. Durch Einführung des so eben gefundenen Ausdruckes für cdt in die Gleichung für dx', findet man

$$dx' = \frac{\alpha p}{\beta} \cdot \frac{d\varphi}{1 + \sigma \operatorname{Cos}\varphi}$$

In zwei zunächst untereinander belegenen Bahnen sei der Abstand der beiden horizontalen Achsen von einander δp und die kleinen Quantitäten, um welche die Werthe von β und γ in der untern Bahn kleiner sind, als in der obern, nenne man $\delta\beta$ und $\delta\gamma$. Die Flächen in der entsprechenden Schicht der Wellenebene müssen einander wieder gleich sein, und da die beiden untersuchten Punkte jederzeit von den vertikalen Achsen ihrer Bahnen gleich weit entfernt sind, so hat man

$$df = (y' - y'')\,dx'$$

Wenn man aber dx' nicht durch das variable $d\varphi$, sondern durch

das constante dt ausdrückt, so ist

$$dx' = \frac{c\,dt}{1 + \varrho \operatorname{Cos}\varphi + \varrho\sigma \operatorname{Cos}\varphi^2}$$

daher

$$df = \frac{\delta p + \operatorname{Cos}\varphi \cdot \delta\beta + \operatorname{Cos}\varphi^2 \cdot \delta\gamma}{1 + \varrho \operatorname{Cos}\varphi + \varrho\sigma \operatorname{Cos}\varphi^2} \ldots c\,dt$$

oder wenn man die Division ausführt,

$$df = c\,dt[\delta p - (\varrho\,\delta p - \delta\beta)\operatorname{Cos}\varphi + (\varrho^2 \delta p - \varrho\sigma\,\delta p - \varrho\,\delta\beta + \delta\gamma)\operatorname{Cos}\varphi^2$$
$$- (\varrho^3 \delta p - 2\varrho^2\sigma\,\delta p - \varrho^2\,\delta\beta + \varrho\sigma\,\delta\beta + \varrho\,\delta\gamma)\operatorname{Cos}\varphi^3 + \ldots]$$

Die Coefficienten der verschiedenen Potenzen von Cos φ müssen an sich gleich Null sein, also

$$df = c\,dt \,.\, \delta p$$

was an sich klar ist. Ferner

$$\varrho \,.\, \delta p - \delta\beta = 0$$

oder

$$\frac{\delta p}{p} = \frac{\delta\beta}{\beta}$$

also β ist proportional der Tiefe p. Eben so ergiebt sich, wenn man den gefundenen Werth von $\delta\beta$ in den Coefficient von Cos φ^2 einführt,

$$\frac{\delta p}{p} = \frac{\delta\gamma}{\gamma}$$

Der Coefficient von Cos φ^2 und die der höheren Potenzen werden durch Einführung der Werthe von $\delta\beta$ und $\delta\gamma$ schon an sich gleich Null. Man sieht hieraus, dafs β und γ der Wassertiefe unter dem Mittelpunkte der Bahn proportional sind, oder dafs in jedem Wellensysteme β und γ sowol unter sich, als zur Tiefe p in constantem Verhältnisse stehn. Wie dieses Verhältnifs sich gestaltet, läfst sich aus der geometrischen Betrachtung nicht ermitteln.

Letztere führt indessen noch zu einigen andern wichtigen Folgerungen:

$$dx = \frac{\alpha p}{\beta} \cdot \frac{d\varphi}{1 + \sigma \operatorname{Cos}\varphi}$$

daher $$x = \frac{2\,\alpha p}{\beta\sqrt{(1-\sigma^2)}} \operatorname{Arc}\left(tg\,t = \sqrt{\frac{(1-\sigma)\,(1-\operatorname{Cos}\varphi)}{(1+\sigma)\,(1+\operatorname{Cos}\varphi)}}\right)$$

Die halbe Länge der Welle von $\varphi = o$ bis $\varphi = \pi$ ergiebt sich hiernach

$$\frac{\alpha p}{\beta\sqrt{(1-\sigma^2)}}\,\pi$$

und die ganze Wellenlänge

$$\lambda = \frac{2\,\alpha p\,\pi}{\beta\sqrt{(1-\sigma^2)}}$$

$$= \frac{2\alpha p\pi}{\beta}(1 + \tfrac{1}{2}\sigma^2 + \tfrac{3}{8}\sigma^4 + \ldots.).$$

Einen sehr einfachen Ausdruck findet man für die beiden Flächen, welche von der Wellenlinie und der durch den Mittelpunkt der Bahn gezogenen Horizontalen oberhalb und unterhalb der letzteren eingeschlossen werden, nämlich

$$y\,dx' = \alpha p \operatorname{Cos}\varphi \,.\, d\varphi$$
$$\int y\,dx' = \alpha p \operatorname{Sin}\varphi$$

Die obere Fläche liegt zwischen $\varphi = \frac{1}{2}\pi$ und $\varphi = \frac{3}{2}\pi$, und die unten zwischen $\varphi = \frac{3}{2}\pi$ und $\varphi = \frac{1}{2}\pi$. Beide sind gleich grofs, nämlich

$$2\,\alpha p$$

Es könnte befremden, dafs die Wassermenge, welche mit dem Kamme der Welle sich über den Horizont des stehenden Wassers erhebt, von der Höhe der Welle, also von β und γ ganz unabhängig ist. Die Höhe der Welle bedingt indessen den Werth von α oder die Verschiebung des einzelnen Wasserfadens. Die Fäden, welche im Stande der Ruhe die Länge $\frac{1}{2}\lambda$ einnahmen, breiten sich bei der Wellenbewegung bis $\frac{1}{2}\lambda + 2\,\alpha$ aus, oder drängen sich zusammen bis $\frac{1}{2}\lambda - 2\,\alpha$, und hieraus ergiebt sich unmittelbar der vorstehende Ausdruck für die gehobene oder herabgesunkene Wassermasse.

Die mechanischen Verhältnisse gestalten sich bei dieser Art der Bewegung augenscheinlich ganz anders, als wenn die Tiefe unendlich grofs ist, und namentlich beruht der Unterschied darauf, dafs die einzelnen Wassertheilchen ihre Geschwindigkeit stets verändern. Hiernach scheint es angemessen, das von d'Alembert aufgestellte allgemeine dynamische Prinzip zum Grunde zu legen. Man darf indessen nicht hoffen, einen vollständigen Anschlufs an dasselbe darzustellen, da die Form der Bahnen willkürlich und nur mit Rücksicht auf die geometrische Bedingung gewählt wurde. Gewifs wäre es vorzuziehn gewesen, dieselbe aus den allgemeinen hydrodynamischen Gleichungen herzuleiten, aber dieser schon so oft vergeblich versuchte Weg bot so grofse Schwierigkeiten, dafs ich mich entschliefsen mufste, mich mit Resultaten zu begnügen, welche die Erscheinung nur annähernd richtig darstellen. Aufserdem tritt bei dieser Bewegung auch die Reibung der Wasserfäden gegen den Boden mit grofsem Werthe in die Rechnung, und sonach

ist auch in dieser Beziehung die volle Uebereinstimmung der gefundenen Gesetze mit der Beobachtung nicht zu erwarten. Ein sehr günstiger Umstand ist es dagegen, dafs auf Wasserflächen von endlicher Tiefe diese Bewegung, schon in geringer Höhe über dem Boden in diejenige übergeht, welche sich bei unendlicher Tiefe darstellt, und sonach die bleibenden Fehler von geringem Einflusse auf die Haupt-Resultate sind. Diese Untersuchung dürfte daher vorzugsweise nur in sofern wichtig sein, als sie nachweist, in welcher Art die eine Bewegung in die andre übergeht.

Abgesehn non denjenigen äufseren Kräften, welche ursprünglich die Wellenbewegung veranlafsten oder sie später verstärkten, kann nur die Schwere als beschleunigende Kraft gelten, und allein in Rechnung gestellt werden. Ihre Wirkung beschränkt sich darauf, dafs von zwei einander berührenden Wasserfäden, die in derselben Wellenebene stehn, der von der Welle früher getroffene einen gewissen positiven oder negativen Druck auf den andern ausübt. Dieser Druck wirkt aber nach dem bekannten hydrostatischen Gesetze gleichmäfsig in der ganzen Höhe der Fäden. Wollte man bei der nahe übereinstimmenden Höhendifferenz dreier einander berührender Fäden, die in derselben Wellenebene stehn, annehmen, auf den mittlern Faden wirke eine Kraft, welche dem Doppelten dieser Differenz gleich sei, so würde man jeden Ueberdruck zweimal in Rechnung stellen, was unrichtig wäre. Dieser Ueberdruck ist, wenn die Breite der Fäden und eben so auch das Gewicht der Raumeinheit des Wassers 1 gesetzt wird, gleich dy' oder dy. Derselbe übt auf die ganze Länge des folgenden Fadens den Druck $y'.dy'$ aus. Die Masse des letzteren ist aber $y'.dx$, daher die horizontale beschleunigende Kraft vergleichungsweise zur Schwere

$$X = \frac{dy'}{dx}.$$

Sollte aufserdem noch eine gewisse vertikale beschleunigende Kraft in Betracht kommen, so könnte dieselbe nur $\frac{dy'}{y'}$, also unendlich klein sein. Eine solche Annahme wäre aber auch in sofern nicht statthaft, weil alsdann dieselbe Höhendifferenz als Ursache zweier beschleunigenden Kräfte eingeführt würde, was wieder nicht statthaft ist, sobald es sich um Bewegungen handelt. Die vertikale beschleunigende Kraft ist daher

$$Y = 0$$

Diese Auffassung stimmt genau mit der von de la Grange gewählten überein.

Man hat sonach die Bedingungsgleichung

$$0 = \Sigma \left[m \,.\, \delta x \left(\frac{d^2 x}{dt^2} - 2\, g \frac{dy'}{dx'} \right) + m \,.\, \delta y \, \frac{d^2 y}{dt^2} \right]$$

und wenn man statt der willkürlichen durch δx und δy bezeichneten Bewegungen die wirklich eintretenden oder dx und dy einführt, und integrirt, so folgt

$$0 = \Sigma \left[\tfrac{1}{2} m \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \tfrac{1}{2} m \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 - 2\, m g \int \frac{dy' \,.\, dx}{dx'} \right]$$

Das erste Glied hat für alle zu demselben Wasserfaden gehörigen Theilchen dieselbe Bedeutung, so auch das letzte, weil die beschleunigende Kraft $\frac{dy'}{dx'}$ auf alle gleichmäfsig wirkt. Das zweite Glied hat dagegen für jedes dieser Theilchen einen andern Werth. Die geometrische Betrachtung ergab bereits, dafs die Gröfsen β und γ den Abständen der Mittelpunkte der betreffenden Bahnen vom Boden proportional sind. Dieser Abstand sei für irgend eine der zu demselben Faden gehörigen Bahnen gleich h, während für die Bahn des die Oberfläche bildenden Theilchens der Abstand vom Boden gleich p ist. Die Veränderung in der Höhenlage jenes Theilchen sei gleich $d\nu$, während y' und dy sich allein auf dieses oder auf die Oberfläche beziehn. Alsdann hat man

$$d\nu = \frac{h}{p}\, dy$$

und die Masse dieses Wassertheilchen

$$m = dx' \,.\, dh$$

daher seine lebendige Kraft in vertikaler Richtung

$$m \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 = \frac{h^2}{p^2} \left(\frac{dy}{dt} \right)^2 dx' \,.\, dh$$

folglich die Summe derselben oder die lebendige Kraft des ganzen Fadens von $h = o$ bis $h = p$

$$\tfrac{1}{3}\, p\, dx' \left(\frac{dy}{dt} \right)^2$$

Nenne ich nunmehr die Masse des ganzen Fadens μ, so ist

$$\mu = p\, dx'$$

also nimmt das zweite Glied den Werth

$$\tfrac{1}{3}\mu\left(\frac{dy}{dt}\right)^2$$

an und die ganze dynamische Bedingungsgleichung wird, wenn man durch μ dividirt,

$$o = \tfrac{1}{2}\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \tfrac{1}{6}\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 - 2g\int\frac{dy\,.\,dx}{dx'}$$

Hier beziehn sich x und y und deren Ableitungen allein auf die Bewegungen des obern Theiles in dem untersuchten Wasserfaden, also auf die Oberfläche. Dasselbe gilt auch von den Bezeichnungen der Bahn-Achsen α, β und γ.

Führt man nun in diese Gleichung die Werthe von dx, dy, dx' durch Functionen von φ ausgedrükt ein, und ordnet dieselben nach den Potenzen von Cos φ, so findet man

$$\tfrac{1}{2}\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 = \tfrac{1}{2}\,\varrho^2\,c^2\,[\,\mathrm{Cos}\,\varphi^2 + 2\,(\sigma-\varrho)\,\mathrm{Cos}\,\varphi^3 + \ldots.]$$

$$\tfrac{1}{6}\left(\frac{dy}{dt}\right)^2 = \frac{\varrho^2 c^2 \beta^2}{6\,\alpha^2}[1+(6\sigma-2\varrho)\mathrm{Cos}\varphi+(13.\sigma^2-14.\sigma\varrho+3.\varrho^2-1)\mathrm{Cos}\varphi^2$$

$$+\,(12..\sigma^3-38.\varrho\sigma^2+24.\sigma\varrho^2-4.\varrho^3-6.\sigma+2\varrho)\,\mathrm{Cos}\,\varphi^3+\ldots.]$$

$$2g\int\frac{dy\,.\,dx}{dx'} = \frac{g\beta^2}{p}\,(\mathrm{Cos}\,\varphi^2 + 2\,.\,\sigma\,\mathrm{Cos}\,\varphi^3 + \sigma^2\,\mathrm{Cos}\,\varphi^4) + \mathrm{Const}$$

Alle drei Ausdrücke sind durch Integration dargestellt. Der erste wird mit der horizontalen Geschwindigkeit gleich Null bei $\varphi = \frac{1}{2}\pi$, es kommt daher keine Constante hinzu. Der zweite mufs Null werden, wenn die vertikale Geschwindigkeit verschwindet, dieses geschieht wirklich bei $\varphi = 0$, denn jedes folgende Glied hebt den Coefficient des zweit-vorhergehenden auf. Es kommt deshalb auch hier keine Constante hinzu. Die Constante des dritten Gliedes mufs aber so bestimmt werden, dafs die Summe der drei Glieder gleich Null wird, wenn Cos $\varphi = 0$. Hiernach ist

$$\mathrm{Const} = -\frac{\varrho^2\,c^2\,\beta^2}{6\,\alpha^2}$$

Die dynamische Bedingungsgleichung enthält also keine Glieder, welche von φ unabhängig sind.

Dagegen kommt ein Glied darin vor, welches die erste Potenz von Cos φ zum Faktor hat. Dieses mufs an sich gleich Null sein, also

$$6\,.\,\sigma - 2\,.\,\varrho = 0$$

$$\varrho = 3\,\sigma$$

oder

$$\gamma = \tfrac{1}{3}\frac{\beta^2}{p} = \tfrac{1}{3}\,\beta\varrho$$

Es mufs hier darauf aufmerksam gemacht werden, dafs wenn man die Bahnen als gewöhnliche Ellipsen in der Rechnung angesehen hätte, dafs alsdann $\sigma = 0$ wäre, folglich nach Vorstehendem auch ϱ oder β gleich Null sein müfste, oder die ganze Untersuchung sich wieder nur auf Wellen von unendlich geringer Höhe bezogen hätte.

Die vorstehenden Ausdrücke lassen sich, nachdem man die Beziehung zwischen ϱ und σ kennt, wesentlich vereinfachen, und man erhält dadurch die Bedingungsgleichung

$$0 = \tfrac{1}{2}\varrho^2 c^2 [\mathrm{Cos}\,\varphi^2 - 4\sigma \mathrm{Cos}\,\varphi^3 + \ldots.]$$
$$+ \frac{\varrho^2}{6}\frac{c^2}{\alpha^2}\frac{\beta^2}{}[-(1+2\sigma^2)\,\mathrm{Cos}\,\varphi^2 + 6\sigma^3 \mathrm{Cos}\,\varphi^3 + \ldots]$$
$$- \frac{g\beta^2}{p}[\mathrm{Cos}\,\varphi^2 + 2\sigma \mathrm{Cos}\,\varphi^3 + \ldots.]$$

Wenn man nun die Summe der Glieder, die $\mathrm{Cos}\,\varphi^2$ zum Factor haben, gleich Null setzt, so erhält man

$$c^2 = \frac{2gp}{1 - \frac{1}{3}\frac{\beta^2}{\alpha^2}(1+2\sigma^2)}.$$

Der Factor $1 + 2\sigma^2$ ist indessen sehr nahe gleich 1, daher annähernd

$$c^2 = \frac{2gp}{1 - \frac{1}{3}\cdot\frac{\beta^2}{\alpha^2}}.$$

Ist die Erhebung der Welle unendlich klein, also $\frac{\beta}{\alpha} = 0$, so folgt

$$c^2 = 2gp$$

Dieses ist dasselbe Resultat, zu dem unter derselben Voraussetzung auch de la Grange gelangt ist. Wenn dagegen, wie meine Messungen ergeben, in der frisch erregten Welle die vertikale Achse der obern Bahn eben so grofs ist, wie die horizontale, oder $\beta = \alpha$, so ergiebt sich

$$c^2 = 3gp$$

Setzt man die Summen der Coefficienten von $\mathrm{Cos}\,\varphi^3$, $\mathrm{Cos}\,\varphi^4$ u. s. w. gleich Null, so ergeben sich keine brauchbare Resultate. Die kleine Gröfse σ tritt darin jedesmal auf, und meist sogar in höheren Potenzen, woher die Glieder ziemlich unbedeutend sind,

also dem Werthe von Null sich nähern. Wenn ihre Summen diesen Werth aber nicht vollständig erreichen, so rührt dieses davon her, dafs die vorausgesetzte Form der Bahnen den dynamischen Gesetzen nicht genau entspricht.

Ich erwähnte bereits, dafs ich nach meinen Beobachtungen β sehr nahe eben so grofs wie α fand, ich mufs aber hinzufügen, dafs α halb so grofs war, als der Weg, den die Scheibe bei senkrechter Stellung zurücklegte. Nachdem ich mich überzeugt hatte, dafs die Wasserfäden ohne sich überzuneigen nur vor- und zurückgeschoben würden, so gab ich auch der Scheibe diese Bewegung, um die Erscheinung in möglichster Regelmäfsigkeit darzustellen und um die Uebergänge aus einer Bewegung in die andre zu vermeiden, die gewifs einen grofsen Theil der mitgetheilten lebendigen Kraft consumirten. Die Scheibe bewegte sich bis 12 Linien weit hin und her. Ueber dieses Maafs hinaus konnte ihr Weg nicht ausgedehnt werden, weil die Erscheinung sonst zu ungleichmäfsig sich darstellte. Andrerseits durfte der Weg aber auch nicht zu geringe sein, und die Wellen wurden schon ziemlich unregelmäfsig, wenn er unter 6 Linien blieb. Die Gröfse 2α oder der horizontale Ausschlag des Glimmerblättchen stellte sich keineswegs in der einzelnen Beobachtung immer ganz gleichmäfsig heraus, es traten vielmehr in Folge der von der einen und der andern Seite zurücklaufenden Wellen immer auffallende Verschiedenheiten ein, durchschnittlich war aber 2α dem Wege gleich, den die Scheibe machte. Eben so grofs war auch die Höhendifferenz zwischen dem obern und dem untern Scheitel der Wellen, und letztere oder der Werth von 2β stellte sich nur merklich geringer heraus, wenn die Wassertiefe weniger, als 1 Zoll maafs. Der Grund hiervon ist ohne Zweifel in der verhältnifsmäfsig viel stärkern Reibung zu suchen, die alsdann auf dem Wege von der erregenden Scheibe bis zu der Stelle, wo die Messungen gemacht wurden, einen ansehnlichen Theil der lebendigen Kraft bereits zerstört hatte. Dieses Verhältnifs zwischen α und β dauerte indessen nur so lange, als die Maschine im Gange war. Sobald die Erregung aufhörte, setzten sich die horizontalen Schwankungen noch einige Minuten hindurch fort, und nahmen sogar vorübergehend eine weit gröfsere Ausdehnung an, während die Wellenhöhe sich augenblicklich sehr stark verminderte und bald unmefsbar klein wurde.

Die Messung der Geschwindigkeiten der Wellen war sehr unsicher. Ohnfern der Scheibe legte ich beim Vorübergange eines Wellenscheitels nach dem Schlage der Secundenuhr auf die Rinne ein Stäbchen und nach 3, oder zuweilen auch nur nach 2 Secunden ein zweites Stäbchen an die Stelle, wo dieser Scheitel sich alsdann befand. Die nachstehende Tabelle giebt die Mittelzahlen aus je zehn solcher Messungen an und zugleich die nach den beiden obigen Ausdrücken berechneten Werthe der Geschwindigkeiten

Wassertiefe	c beobachtet	$c = \sqrt{2gp}$	$c = \sqrt{3gp}$
1 Zoll	19,3 Zoll	13,4 Zoll	23,7 Zoll
1,5	24,9	16,5	29,0
2	27,8	19,0	33,5
2,5	33,2	21,3	37,5
3	37,7	23,3	41,1

Man bemerkt, dafs die beobachteten Geschwindigkeiten jedesmal zwischen die beiden berechneten fallen, dafs sie aber namentlich bei den gröfseren Tiefen sich den letzten Werthen nähern. Die Geschwindigkeit, nach dem Ausdrucke $\sqrt{3gp}$ berechnet verhält sich zu der beobachteten bei den 5 verschiedenen Tiefen, wie

1,23 1,17 1,21 1,13 1,09

zu 1. Die Differenz wird also immer geringer, wie der Einfluſs der Reibung sich vermindert, und sonach darf man wohl annehmen, dafs dieser Ausdruck für c an sich richtig ist, jedoch die Resultate der Messung nicht scharf wiedergeben kann, weil er die Reibung nicht berücksichtigt.

Scott Russell hat eine sehr grofse Anzahl von ähnlichen Geschwindigkeits-Messungen angestellt*), die in gewisser Beziehung mit viel gröfserer Schärfe gemacht sind, als mein Apparat gestattete, die aber unglücklicher Weise die Erscheinung in so verschiedenen Stadien ihrer Entwickelung umfassen, dafs man keine befriedigende Resultate daraus ziehn kann. Die von ihm benutzte Wellenrinne war 20 Fufs lang und 1 Fufs breit und hoch. An dem einen Ende befand sich noch ein kleines durch ein Schütz abzuschliefsendes Bassin, in welchem der höhere Wasserstand dargestellt wurde, der zur Erregung der Wellen diente. Sobald dieses

*) Reports of the British Association for the Advancement of Science. London 1837 und 1844.

Schütz plötzlich geöffnet wurde, so trat die Welle in die Rinne und durchlief diese bis an das hintere Ende. Von hier kehrte sie um, bevor sie aber das Schütz wieder erreichte, mufste dasselbe schon geschlossen sein, so dafs die Welle auch von diesem aufs Neue zurückgeworfen wurde. In einem Falle wurde der Vorübergang der Welle 68mal hinter einander beobachtet, so dafs ihr ganzer Weg 1360 Fufs betrug. Dazu kommt aber noch, dafs Scott Russel die Wellen zuerst immer einige Male hin und herlaufen liefs, ehe er den Vorübergang beobachtete.

Eine optische Vorrichtung wurde benutzt, um durch Reflection des Lichtes den Scheitel sicher zu erkennen, und eine Tertien-Uhr diente zur Zeitbestimmung. Die Höhe der Welle wurde an einigen seitwärts angebrachten Glasröhren beobachtet, in denen jedoch kaum die Erhebung sich vollständig darstellen mochte, da dieselbe Vorrichtung bekanntlich die Schwankungen des Wasserstandes vermindert und daher benutzt wird, um die Pegel von der Einwirkung des Wellenschlages unabhängig zu machen. Nichts desto weniger liefsen auch diese Röhren deutlich erkennen, dafs die Wellenhöhe nach und nach sich sehr stark verminderte, also die Erscheinung wesentlich ihre Natur änderte.

Im Ganzen wurden 55 Beobachtungsreihen angestellt, und die Anzahl der einzelnen Messungen beläuft sich auf mehr, als 600. Unter diesen wählt Scott Russel 77 aus, bei welchen die Wassertiefen 1 bis $7\frac{1}{4}$ Zoll, und die durchlaufenen Wege 40 bis 240 Fufs maafsen. Die Geschwindigkeiten wurden mit sehr wenigen Ausnahmen gröfser gefunden, als der Ausdruck $c = \sqrt{2gp}$ sie ergiebt. Scott Russel findet, dafs diese 77 Beobachtungen an den Werth

$$c = \sqrt{2g(p+\beta)}$$

sich gut anschliefsen, wo β wieder die halbe Wellenhöhe bedeutet. Dieses ist allerdings annähernd richtig, doch bestätigt sich dieses Gesetz nicht durch die sämmtlichen Messungen, auch zeigen dieselben vielfach so auffallende und unerklärliche Differenzen, dafs sie wohl nicht als besonders genau angesehn werden können. Eine so grofse Annäherung an den oben entwickelten Ausdruck, wie meine Messungen ergeben, zeigt sich hier nur sehr selten und ohne Zweifel rührt dieses davon her, dafs die Wellen zur Zeit der Beobachtung sich schon sehr geschwächt hatten und β vergleichungsweise gegen α schon sehr klein geworden war.

Wenn man fragt, woher die Bahnen, in welchen die Theilchen der Oberfläche sich bewegen, gleiche vertikale und horizontale Durchmesser haben, so dürfte sich dieses vielleicht dadurch erklären, dafs bei der überwiegenden Gröfse der Reibung, welche die Wasserfäden am Boden des Bassins erfahren, die mitgetheilte lebendige Kraft sich um so leichter übertragen kann, je gröfser die vertikalen Durchmesser werden, dafs dagegen die Impulse, welche die Wassertheilchen erhalten, und zwar eben sowol wenn dieselben von der Scheibe, als wenn sie vom Winde herrühren, nur horizontal gerichtet sind, und daher auch in vertikaler Richtung keine gröfsere Geschwindigkeit oder keine Ueberhöhung der Bahn veranlassen können.

Diese Bahnen, in denen $\alpha = \beta$ ist, schliefsen sich sehr nahe der Form des Kreises an. Im obern und untern Scheitel fallen sie mit einem solchen zusammen und an den beiden Seiten ist der Unterschied nur unbedeutend. Um die Abweichungen beider Curven von einander zu übersehn, ziehe man von dem Anfangspunkte der Coordinaten eine Linie, welche sowol die Bahn, als auch den Kreis schneidet. Der Winkel, den sie mit dem Lothe macht, sei gleich φ. Aus dem Punkte, wo sie den Kreis trifft, ziehe man eine zweite Linie nach dem Mittelpunkte des Letzteren. Es bildet sich alsdann ein Dreieck, in welchem man zwei Seiten, nämlich β und γ und den an γ anstofsenden Winkel φ kennt. Hieraus läfst sich die Länge der ersten Linie bis zu ihrem Zusammentreffen mit dem Kreise finden. Ihre Länge bis zur Bahn ist gleich $\sqrt{x^2+y^2}$, und der Unterschied dieser Längen bezeichnet den Abstand beider Curven in einer Richtung, die zu beiden nahe normal ist.

Man löse die Ausdrücke in unendliche Reihen auf und vernachlässige die höhern Potenzen, so findet man den Abstand beider Curven

$$\beta\sigma \operatorname{Sin}\varphi^2 \left[\operatorname{Cos}\varphi - \tfrac{1}{2}\sigma(1 + \operatorname{Cos}\varphi^4)\right]$$

Dieser Ausdruck wird ein Maximum, sobald sein Differenzial gleich Null ist, und hieraus ergiebt sich

$$\sigma = \frac{3\operatorname{Cos}\varphi^2 - 1}{\operatorname{Cos}\varphi(1 - 2\operatorname{Cos}\varphi^3 + 3\operatorname{Cos}\varphi^5)}$$

Ich setze beispielsweise $\sigma = 0{,}033$, also $\varrho = 0{,}1$. Die ganze Wellenhöhe ist also dem fünften Theile der Tiefe gleich. Alsdann

treten die positiven Maxima ein, wenn $\varphi = 54° 25' 10''$ und $\varphi = 305° 34' 50''$, und zwar sind sie gleich $0{,}0124 . \beta$. Die negativen Maxima zeigen sich dagegen, wenn $\varphi = 125° 44' 3''$ und $\varphi = 234° 15' 57''$, und ihr Werth ist $= -0{,}0132 . \beta$. Die Abweichung beträgt also nur etwa $1\frac{1}{2}$ Procent der Länge des Radius. Zeichnet man die Bahn, so scheint sie in der That ein Kreis zu sein. Man bemerkt die Abweichungen nur, wenn man den richtigen Kreis gleichfalls auszieht.

Gröfser ist die Verschiedenheit, die sich in Bezug auf die Geschwindigkeit der in der Oberfläche befindlichen Wassertheilchen herausstellt.

$$v = \sqrt{\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy}{dt}\right)^2}$$

$$= \frac{\beta}{p} c \sqrt{1 - 4\sigma \operatorname{Cos}\varphi^3 - (2 \operatorname{Cos}\varphi^2 - 10 \operatorname{Cos}\varphi^4)\sigma^2 + \ldots}$$

und wenn man die höheren Potenzen von σ vernachlässigt

$$v = \frac{\beta}{p} c (1 - 2\sigma \operatorname{Cos}\varphi^3)$$

die geringste Geschwindigkeit trittt daher im obern Scheitel ein, sie ist

$$\frac{\beta}{p} c (1 - 2\sigma)$$

und die gröfste, die im untern Scheitel statt findet, ist

$$\frac{\beta}{p} c (1 + 2\sigma)$$

Wenn σ wieder gleich 0,033 gesetzt wird, so ist der in die Parenthese eingeschlossene Factor im ersten Falle 0,933 und im zweiten 1,067. Die beiden Extreme verhalten sich also wie

$$1 : 0{,}88$$

Der mittlere Werth dieser Geschwindigkeit ist

$$v = \frac{\beta}{p} c$$

und derselbe ist um so geringeren Schwankungen ausgesetzt, je gröfser die Wassertiefe vergleichungsweise zur Wellenhöhe ist, oder je kleiner ϱ und σ werden.

Die mittlere Angular-Geschwindigkeit ist ferner

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{p}$$

Wenn man in dem obigen Ausdrucke für die Länge der Welle die höheren Potenzen von σ vernachlässigt, so ist

$$\lambda = \frac{2\alpha p \pi}{\beta}$$

oder wenn $\alpha = \beta$

$$\lambda = 2 p \pi$$

Für diesen Fall findet man auch

$$c^2 = \tfrac{1}{2} \frac{g\lambda}{\pi}$$

und

$$\tau = 2\pi \sqrt{\frac{p}{3g}}$$

§. 4.

Wellen auf Wasserflächen von gröfserer, jedoch endlicher und constanter Tiefe.

Die bisherigen Untersuchungen bezogen sich auf die beiden Extreme der Erscheinung, nämlich auf Wellen, die sich bei unendlich grofser und bei sehr kleiner Wassertiefe bilden. Die dazwischen liegenden Fälle schliefsen sich weder an die eine, noch an die andre unmittelbar an. Wollte man die für kleine Tiefen gefundenen Gesetze auch auf gröfsere anwenden, so würden die Geschwindigkeiten schon bei mäfsiger Tiefe sich viel gröfser herausstellen, als sie in der Wirklichkeit je vorkommen. Andrerseits können die Wellenbewegungen, die bei unendlicher Tiefe sich darstellen, über einem Boden in endlicher Tiefe nicht eintreten, weil sie unmittelbar über dem letzteren entweder leere, oder überfüllte Räume bilden würden. Indem nun aber die zuerst gefundenen Gesetze, namentlich in Bezug auf Geschwindigkeit und Länge der Wellen sich an die Beobachtungen befriedigend anschliefsen, welche bei endlicher und zum Theil sogar bei mäfsiger Tiefe gemacht sind, so darf man wohl annehmen, dafs in diesem Falle keine neue, von den bisher untersuchten verschiedene, Art der Bewegung eintritt, vielmehr jene beide sich vereinigen, indem an einer gewissen Stelle eine in die andre übergeht.

Der Unterschied zwischen diesen beiden Bewegungen beruht in der Art und Weise, wie die Wasserfäden hin- und herschwanken. Bei unendlicher Tiefe steht ihr Fufs unbeweglich an derselben Stelle und sie neigen sich nur abwechselnd nach vorn und nach hinten über. Bei sehr geringer Tiefe behalten sie dauernd die lothrechte

Stellung bei, und bewegen sich gleichmäfsig in ihrer ganzen Höhe hin und her. Bis zu welcher Höhe diese letzte Bewegung noch eintreten kann, läfst sich im Allgemeinen nicht angeben. Scott Russel ist der Ansicht, dafs dieses auch noch auf Schiffahrts-Canälen geschehe, doch lassen seine Mittheilungen dieses nicht näher übersehn. Er nennt die Welle dieser Art „the great primary wave of translation" und legt ihr zunächst die Eigenthümlichkeit bei, dafs sie immer nur einzeln, nie aber in einem ganzen Wellensysteme auftritt. Diese Angabe ist wohl nicht richtig, denn wenn der Impuls zur Wellenbildung auch nur momentan gegeben wird, so bemerkt man doch jedesmal, dafs mehrere Wellen hinter einander auftreten, von denen freilich jede folgende viel schwächer als die vorhergehende ist, weil sie nicht unmittelbar durch den Stofs veranlafst wurde. Demnächst sagt er, ohne jedoch eine nähere Begründung dafür zu geben, dafs in diesen Wellen die horizontalen Wege der sämmtlichen übereinander liegenden Wassertheilchen gleich grofs sind. Es werden zwei hierher gehörige Beobachtungen angeführt, die bei Wassertiefen von 3 und $5\frac{1}{4}$ Fufs angestellt wurden, doch ist die Bezeichnung der Tiefe wieder mangelhaft. Die beobahteten Geschwindigkeiten fallen auch hier zwischen die Werthe, die sich aus den Ausdrücken $V 2gp$ und $V 3gp$ ergeben. Interessant ist hierbei aber die Art der Erregung der Wellen. Ein Schnellboot, von Pferden in starkem Trabe gezogen, bildete nämlich die Welle und wenn das Boot plötzlich angehalten wurde, so setzte die Welle allein ihren Weg weiter fort. Scott Russel verfolgte sie einmal eine Englische Meile weit, ehe sie so niedrig wurde, dafs sie nicht mehr deutlich erkannt werden konnte. Besonders wichtig ist die Beobachtung, dafs die Geschwindigkeit des Bootes auf die der Wellen keinen Einflufs hatte. Das Boot wurde nämlich mit den sehr verschiedenen Geschwindigkeiten von 3 bis 10 Englischen Meilen in der Stunde gezogen, und dennoch durchlief die Welle einen dahinter abgesteckten Raum von 700 Fufs Länge jedesmal in $61\frac{1}{2}$ bis $62\frac{1}{2}$ Secunden. Der geringe Unterschied von 1 Secunde war aber nur zufällig, denn es traf sich sogar, dafs gerade bei der gröfsten und der kleinsten Geschwindigkeit des Bootes dieselbe Zwischenzeit gemessen wurde.

Der Uebergang aus einer der vorstehend untersuchten Bewegungsarten in die andre kann natürlich nur da er

folgen, wo die Bewegung der Wassertheilchen an beide sich anschliefst, und er würde sich nicht als unmöglich darstellen, wenn dieser Anschlufs auch nicht in aller Strenge, sondern nur annähernd statt fände. Man darf nämlich voraussetzen, dafs die lebendige Kraft, welche der Oberfläche des Wassers dauernd mitgetheilt wird, hinreichend ist, um geringe Differenzen auszugleichen. Aufserdem aber darf man auch nicht unbeachtet lassen, dafs die gefundenen Gesetze der Wellenbewegung bei sehr geringen Wassertiefen überhaupt nur als annähernd richtig anzusehn sind.

Wenn nun die letzte Wellenbewegung sich soweit aufwärts fortsetzt, bis die Bahn gleiche horizontale und vertikale Durchmesser hat, sich also dem Kreise sehr nähert, so ergaben sich für die Länge der Welle und für die absoluten und Angular-Geschwindigkeiten der Wassertheilchen, die solche Bahnen durchlaufen, die Näherungswerthe

$$\lambda = 2p\pi$$

$$v = \beta\frac{c}{p}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{p}$$

für die Wellen auf unendlicher Tiefe waren dagegen die entsprechenden Werthe

$$\lambda = 2r\pi$$

$$v = \varrho\,\frac{c}{r}$$

$$\frac{d\varphi}{dt} = \frac{c}{r}$$

Die grofse Uebereinstimmung dieser Ausdrücke leuchtet ein. Der Halbmesser ϱ kann alle Werthe zwischen r und 0 annehmen. In einer gewissen Tiefe ist er also auch gleich β, oder dem Radius derjenigen Bahnen, welche die Wassertheilchen der Oberfläche des untern Systems durchlaufen. Wenn die Höhe dieser Uebergangsschicht über dem Boden oder p dem Radius r gleich ist, von dem bei unendlich tiefem Wasser die Wellenlänge und die Geschwindigkeit der Welle abhängt, so stimmen diese Ausdrücke genau überein. Es bildet sich also bei endlicher Tiefe unmittelbar über dem horizontalen Meeresgrunde dasjenige Wellensystem aus, wobei die Wasserfäden ohne ihre senkrechte Stellung aufzugeben, sich nur hin- und herbewegen, weiter aufwärts neigen sie sich aber abwechselnd

vor und zurück in gleicher Weise, als ob sie sich bis zur unendlichen Tiefe fortsetzten. Das wesentlichste Bedenken, welches sich dieser Auffassung entgegenstellt, bezieht sich augenscheinlich auf die Geschwindigkeit der Wellen, die für beide Systeme in dem Verhältnisse von

$$\sqrt{2} : \sqrt{3} = 9 : 11$$

verschieden sein würde. Nach allen Beobachtungen ist indessen in der Wirklichkeit der Unterschied schon geringer, und scheint sich etwa auf 10 Prozent zu reduciren, insofern die starke Reibung über dem Boden den Fufs der Wasserfäden zurückhält.

In den meisten Fällen, wie sie sich in der Natur darstellen, ist überdies der Radius der Bahnen in dieser Uebergangsschicht sehr klein, die Abweichung kann daher auf die Bewegung im Ganzen wenig Einflufs haben und die geringen Differenzen in der absoluten Geschwindigkeit der betreffenden Wassertheilchen werden durch die starke Bewegung der obern Schichten leicht ausgeglichen. Endlich mufs man auch darauf Rücksicht nehmen, dafs die Wellenbewegung sich erfahrungsmäfsig niemals ganz regelmäfsig gestaltet, und es wäre möglich, dafs dieses vielleicht theilweise auch davon herrührt, dafs jener Uebergang mit manchen Störungen verbunden ist.

Bezeichnet man nun den Radius der Bahnen in der Uebergangsschicht mit β, und denjenigen in der Oberfläche des Wassers mit ϱ, während r nicht nur wie früher der Radius der kreisförmigen Bahn ist, die durch ihren Umfang die Wellenlänge bestimmt, sondern zugleich die Höhe der Uebergangsschicht über dem Boden des Bassins ausdrückt, so liegt die Uebergangsschicht in der Tiefe

$$r\left(\text{log. nat. } \frac{r}{\beta} - \text{log. nat. } \frac{r}{\varrho}\right) = r.\,\text{log. nat. } \frac{\varrho}{\beta}$$

unter der Oberfläche des Wassers und ihr Abstand vom Boden ist gleich r. Die ganze Wassertiefe ist daher

$$P = r\left(1 + \text{log. nat. } \frac{\varrho}{\beta}\right)$$

folglich

$$e^{\frac{P-r}{r}} = \frac{\varrho}{\beta}$$

oder

$$e^{1-\frac{P}{r}} = \frac{\beta}{\varrho}$$

Ist die Wassertiefe und zugleich die Wellenlänge, also auch r bekannt, so ist dadurch schon das Verhältnifs der Radien ϱ und β gegeben. Ihre absoluten Werthe kennt man indessen nicht, und diese hängen ohnfehlbar von der dem Wasser mitgetheilten lebendigen Kraft ab. Letztere steht unzweifelhaft mit der Geschwindigkeit der Wellen in einer gewissen Beziehung, also auch mit r. Hiernach dürfte sich die Voraussetzung rechtfertigen, dafs die dem Wasser mitgetheilte Bewegung sich so gestaltet, dafs die lebendige Kraft vergleichungsweise zur Reibung ein Minimum wird. Die Reibung ist indessen zweifach, nämlich einmal entsteht sie durch das Verschieben der Wasserfäden gegen einander, und sodann durch die Bewegung, welche der Fufs jedes Fadens längs dem Boden macht. Diese letzte Reibung ist gänzlich unbekannt, man kann dieselbe daher nicht in Rechnung stellen, sie ist aber gewifs gegen die erste auch sehr geringe, weil der Weg, den der Fufs des Fadens durchläuft, nur sehr klein, auch die Geschwindigkeit sehr geringe ist.

Die lebendige Kraft, wie die Reibung und zwar beides in der Ausdehnung einer Wellenlänge für die Wellenbewegung in unendlicher Tiefe ist schon früher angegeben. Bei sehr geringer Tiefe oder für den Fall, dafs die Wasserfäden ihre lothrechte Stellung beibehalten, findet man aber annähernd

$$L = \tfrac{1}{3}\,\beta^2\,c^2\,\pi$$

und

$$R = 2\,k\,c\,\beta$$

Diese beiden letzten Ausdrücke gelten wieder für eine Wellenlänge und für die Tiefe vom Boden aufwärts bis zu derjenigen Schicht, wo die Bahnen gleiche horizontale und vertikale Durchmesser haben.

Hieraus ergeben sich die lebendigen Kräfte und die Reibungen für die ganze Wassermasse. Der einfacheren Bezeichnung wegen sei

$$\frac{\varrho}{r} = \varepsilon$$

und

$$\frac{\beta}{\varrho} = n$$

also

$$\frac{\beta}{r} = \varepsilon n$$

Alsdann hat man die Reibung

$$R = \tfrac{4}{3}\,k\,c\,r\,(\varepsilon^3 - n^3\,\varepsilon^3 + \tfrac{3}{2}\,n\,\varepsilon)$$

und

$$L = c^2\,r^2\,\pi\,(\varepsilon^2 + \tfrac{1}{3}\,n^2\,\varepsilon^2)$$

folglich $$\frac{R}{L} = \frac{2k}{3cr\pi} \cdot \frac{2(1-n^3)\varepsilon^2 + 9n}{(3+n^2)\varepsilon}$$

In diesem Ausdrucke ist nur ε unbekannt, man mufs denselben also in Bezug auf diese Gröfse differenziren und das Differenzial gleich Null setzen, dadurch erhält man

$$\varepsilon = 3\sqrt{\frac{n}{2(1-n^3)}}$$

oder wenn man für ε seinen Werth einführt, so folgt

$$\varrho = \frac{3r}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{n}{1-n^3}}$$

n ist aber bereits bekannt, nämlich

$$n = e^{1-\frac{P}{r}}$$

Man findet endlich noch

$$\beta = \varrho \cdot e^{1-\frac{P}{r}}$$

Um die Rechnung nach diesen Formeln zu erleichtern, habe ich der mehrfach erwähnten Abhandlung in den Schriften der Academie zwei Tabellen beigefügt, von denen die erste für die verschiedenen Werthe von $\frac{r}{P}$ die entsprechenden Werthe von $\frac{\varrho}{P}$ und $\frac{\beta}{P}$ enthält. In der zweiten dagegen ist $\frac{\varrho}{P}$ als Argument angenommen und die Tabelle giebt die entsprechenden Werthe von $\frac{r}{P}$ und $\frac{\beta}{P}$ an.

Die mittlere Wassertiefe der Ostsee mifst ungefähr 35 Faden, also

$$P = 210 \text{ Fufs.}$$

Wenn sich auf derselben Wellen von 6 Fufs Höhe bilden, so ist

$$\varrho = 3 \text{ Fufs}$$

also $$\frac{\varrho}{P} = 0{,}01430$$

Hieraus ergiebt sich durch unmittelbare Rechnung, oder nach jener Tabelle

$$\frac{r}{P} = 0{,}14077$$

und $$\frac{\beta}{P} = 0{,}000032$$

Die Uebergangsschicht liegt sonach über dem Boden in der Höhe

$$r = 29{,}562 \text{ Fufs}$$

dagegegen ist $\beta = 0{,}00672$ Fufs
oder noch nicht eine Linie. Der Weg, den der Fufs des Wasserfadens durchläuft, mifst also etwa nur 2 Linien. Aufserdem findet man

$$\lambda = 185{,}74 \text{ Fufs}$$
$$c = 30{,}408 \text{ Fufs}$$

und $\tau = 6{,}110$ Secunden.

Die bereits erwähnten Beobachtungen, die in der Bai von Plymouth angestellt sind, schliefsen sich an diese Rechnung nicht an, und dieses rührt ohne Zweifel davon her, dafs die Wellen auf der geringen Tiefe, wo sie gemessen wurden, nicht entstanden, vielmehr aus tieferm Wasser hier eingelaufen waren. Ganz dasselbe war auch bei einer der in der Nähe von Swinemünde im frischen Haffe gemachten Messung der Fall. Letztere schliefst sich den vorstehenden Gesetzen jedoch an, wenn die Tiefe, die daselbst nur 14 Fufs betrug, um die Hälfte vergröfsert wird. Die beobachteten Wellen liefen bei dem südlichen Winde aber auch in der That von bedeutend tieferen Wasserflächen hier auf.

Zwei andere Beobachtungen, die der Lootsen-Commandeur Knoop anstellte, stimmen dagegen mit den vorstehenden Gesetzen sehr gut überein. In der ersten war

$$P = 18 \text{ Fufs}$$
$$\varrho = 0{,}875 \text{ Fufs}$$
$$c = 10{,}309 \text{ Fufs}.$$

Hieraus ergiebt sich

$$r = 3{,}3994$$

folglich $\frac{r}{P} = 0{,}1888$

und daraus findet man

$$\frac{\varrho}{P} = 0{,}0468$$

oder $\varrho = 0{,}8428$

also sehr genau übereinstimmend mit der beobachteten durchschnittlichen halben Wellenhöhe. Endlich findet man noch

$$\beta = 0{,}0119 \text{ Fufs oder } 1\tfrac{3}{4} \text{ Linien}.$$

Die zweite Messung wurde an einer Stelle gemacht, wo die Tiefe bedeutend gröfser war.

$$P = 27 \text{ Fufs}$$
$$c = 12{,}121 \text{ Fufs}$$
$$\varrho = 1 \text{ Fufs}.$$

Man findet aus dem Werthe für c

$$r = 4{,}6993$$

folglich $\frac{r}{P} = 0{,}1740$

und daraus $\frac{\varrho}{P} = 0{,}0355$

daher $\varrho = 0{,}9585$

Schliefslich mufs ich in Betreff der von mir mittelst der Wellenrinne angestellten Messungen noch erwähnen, dafs ϱ niemals gröfser werden kann, als r. Beide Radien sind einander gleich, wenn sie, durch die Wassertiefe P dividirt, den Werth 0,39765 annehmen. Hieraus folgt, dafs auf Wasserflächen von constanter Tiefe die ganze Wellenhöhe äufsersten Falles nur $\frac{4}{5}$ der Wassertiefe betragen kann, wenn noch das vortheilhafteste Verhältnifs zwischen der lebendigen Kraft und der Reibung sich darstellen soll. Das Maximum des Werthes von $\frac{\beta}{P}$ ist aber 0,08743. Der Weg, den der Fufs des Wasserfadens auf dem Boden durchläuft, kann daher unter derselben Voraussetzung nicht gröfser, als der zwölfte Theil der Wassertiefe sein. Bei meinen Beobachtungen wurde diese letzte Bedingung augenscheinlich nicht erfüllt, weil die Bewegung, die ich der Scheibe gab und geben mufste, um höhere Wellen darzustellen, schon viel gröfser war. Die Resultate dieser Beobachtungen gehören daher nicht zu dem hier untersuchten Falle, der sich auf das gleichzeitige Auftreten beider Wellensysteme bezieht. Sie zeigen die Erscheinung nur in der Art, wie sie unterhalb der Uebergangsschicht vorgeht. Die Wellenperiode maafs bei meinen Beobachtungen jedesmal ungefähr 1 Secunde, wenigstens niemals bedeutend weniger. Die Gesetze, welche für unendliche Wassertiefen oder für die oberhalb der Uebergangsschicht gebildeten Wellen gelten, ergeben nun für $\tau = 1$

$$r = \frac{g}{2\pi^2} = 9{,}5 \text{ Zoll}$$

Der Wasserstand in der Rinne, der äufsersten Falls nur $3\frac{1}{2}$ Zoll betrug, hätte also die Höhe von mehr als $9\frac{1}{2}$ Zoll haben müssen, um zugleich die erste Art der Wellenbewegung oder das Ueberneigen der obern Theile der Wasserfäden zu zeigen.

§. 5.
Wellen auf ansteigendem Grunde.

Die Schwierigkeiten, denen man schon in der Untersuchung der Wellenbewegung bei endlicher, aber constanter Tiefe begegnet, vergröfsern sich in hohem Grade, wenn man zu denjenigen Wellen übergeht, die Untiefen antreffen und gegen die Ufer laufen. Die Kenntnifs der Gesetze, welche die Bewegung und Wirkung dieser Wellen bedingen, ist indessen beim See- und Hafenbau besonders wichtig. Es kommt also darauf an, die Erfahrungen, die über sie gemacht sind, zu sammeln, und soweit es geschehn kann, auch zu erklären.

In der Nähe der Ufer oder auf den Untiefen vor denselben bilden sich niemals neue Wellen von bedeutender Gröfse, weil es hier an den dazu erforderlichen Kräften fehlt. Die Wellen, die man auflaufen und brechen sieht, haben ihren Ursprung in der offenen See. Von dort aus setzen sich die obern Scheitel vermöge des Druckes, den sie auf die nächsten Wasserfäden ausüben, über diejenigen Flächen fort, die weniger tief unter Wasser und zum Theil sogar über Wasser liegen. Das Letztere geschieht namentlich auf dem Strande, oder der flachen Sandablagerung, die sich nicht nur vor niedrigen, sondern häufig selbst vor hohen Ufern hinzieht.

Bei dieser Uebertragung der Bewegung darf eine Zerstörung der lebendigen Kraft nicht vorausgesetzt werden, wenn man von der Reibung absieht und wenn die Welle nicht etwa bricht oder brandet. Ein Wasserfaden, der durch eine steile Klippe in seiner ganzen Höhe oder nur theilweise am Ausschwingen verhindert wird, erleidet an allen Stellen, wo seine Bewegung gehemmt ist, einen verstärkten Druck, der nicht ohne Wirkung bleiben kann. Indem die einzelnen Wassertheilchen seitwärts nicht ausweichen können, so bewegen sie sich nach der freien Oberfläche, oder die Welle erhebt sich zu gröfserer Höhe und wirkt demnach um so stärker auf die folgenden Fäden. Wirkliche Stöfse, welche die lebendige Kraft theilweise zerstören, finden bei dieser Uebertragung der Bewegung nicht statt.

Indem die einzelnen Wellen in der offenen See entstehn und ihre Periode den dortigen Verhältnissen entspricht, so ergiebt sich,

dafs diese Wellen bei ihrer Annäherung an das Ufer und beim Auflaufen auf den Strand auch in denselben Zwischenzeiten einander folgen müssen. Nach den früheren Untersuchungen war bei constanter und zwar geringer Wassertiefe die Periode der Wellen der Quadratwurzel ihrer Länge proportional. Dieses Gesetz verliert im vorliegenden Falle seine Gültigkeit. Indem die Geschwindigkeit der Wellen sich aber vermindert, so rücken ihre Scheitel bei der gleichen Periode näher an einander, oder ihre Längen verkürzen sich. Es ergiebt sich hieraus, dafs die Erscheinungen wegen ihrer unvollständigen Ausbildung viel complicirter werden. Bei ihrer grofsen Wichtigkeit rechtfertigt sich indessen der Versuch, ihren Zusammenhang mit den obigen Gesetzen wenn auch nur in einzelnen Beziehungen nachzuweisen.

Zunächst werde vorausgesetzt, dafs der Grund vor dem Ufer sich stufenförmig erhebt, und dafs jede Stufe solche Ausdehnung hat, dafs die Welle, während sie darüber läuft, diejenige Geschwindigkeit annimmt, welche der jedesmaligen constanten Tiefe entspricht. Die Annahme, dafs die lebendige Kraft der Welle sich nicht vermindert, ist bereits erörtert. Diese beiden Bedingungen genügen indessen noch nicht, um die nach und nach eintretenden Modificationen der Erscheinung festzustellen, man mufs vielmehr noch die dritte Voraussetzung einführen, dafs dabei stets solche Wellen sich bilden, in welchen die Reibung der Wassertheilchen gegen einander vergleichungsweise zur lebendigen Kraft ein Minimum bleibt.

Unter Beibehaltung der früheren Bezeichnung hat man alsdann die Bedingungsgleichungen

$$\frac{\beta}{\varrho} = e^{1-\frac{P}{r}} = n$$

$$L = 2\,g\,\pi\,r\varrho^2\,(1+\tfrac{1}{3}n^2)$$

und

$$\varrho = \frac{3r}{\sqrt{2}}\sqrt{\frac{n}{1-n^3}}$$

Indem nun, wie vorausgesetzt, L constant ist, so kann man

$$r\varrho^2 = (1+\tfrac{1}{3}n^2) = K$$

setzen. Hieraus ergiebt sich

$$r = \frac{K}{\varrho^2\,(1+\frac{1}{3}n^2)} = \frac{\sqrt{2}}{3}\;\sqrt{\frac{1-n^3}{n}}$$

und folglich

$$\varrho^3 = \frac{3}{\sqrt{2}} \cdot \frac{K}{1 + \frac{1}{3} n^2} \cdot \sqrt{\frac{n}{1 - n^3}} \quad . \quad . \quad . \quad A$$

Aus jener ersten Bedingungsgleichung erhält man aber auch noch den Ausdruck

$$\frac{P}{r} = 1 - \log. \text{ nat. } n \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad B$$

Diese beiden Gleichungen genügen, um alle Bestimmungsstücke der Wellen zu berechnen, sobald P und K bekannt sind. Die Rechnung läfst sich aber nicht direct, sondern nur versuchsweise ausführen, und am einfachsten geschieht dieses, wenn man für n verschiedene willkührliche Werthe annimmt. Die Gleichung A ergiebt alsdann direct die Gröfse ϱ und folglich auch β, und die Gleichung B führt zur Bestimmung von r. Die betreffenden Gröfsen c, λ und τ sind alsdann aus r herzuleiten, da

$$c = \sqrt{2gr}$$

$$\lambda = 2\pi r$$

und

$$\tau = \frac{\lambda}{c}$$

Beispielsweise werde die am Schlusse des vorigen Paragraphen mitgetheilte Beobachtung zum Grunde gelegt, wonach

P oder die Wassertiefe gleich 27 Fufs und

ϱ oder die halbe Wellenhöhe gleich 1 Fufs ist.

Hieraus findet man nach den in § 4 entwickelten Ausdrücken

r oder den Radius desjenigen Kreises, dessen Umfang der Wellenlänge gleich ist, gleich 4,7884 Fufs,

β oder die Hälfte des Weges, den der vertikale Theil des Wasserfadens hin und her durchläuft, gleich 0,00967 Fufs,

c oder die Geschwindigkeit der Welle 12,235 Fufs,

λ oder die Länge der Welle 30,086 Fufs,

τ oder die Periode der Welle 2,4591 Secunden,

$n = \frac{\beta}{\varrho}$ ist gleich 0,00967 und endlich

K gleich 4,7886.

Um die Aenderungen darzustellen, welche die Welle erleidet, während sie nach und nach auf Wasserflächen von geringerer Tiefe tritt, so sind in der umstehenden Tabelle für die Gröfse n verschiedene Werthe angenommen, und es ergeben sich daraus die übrigen Bestimmungsstücke

n	ϱ	β	r	P	c	λ	τ
0,01	1,005	0,010	4,74	26,56	12,17	29,77	2,45
0,02	1,128	0,022	3,76	18,47	10,84	23,63	2,18
0,03	1,207	0,036	3,28	14,80	10,13	20,64	2,04
0,04	1,266	0,051	2,98	12,59	9,66	18,75	1,94
0,05	1,314	0,066	2,77	11,07	9,31	17,41	1,87
0,06	1,355	0,081	2,61	9,97	9,04	16,42	1,82
0,07	1,390	0,097	2,48	9,08	8,81	15,58	1,77
0,08	1,421	0,114	2,37	8,37	8,61	14,91	1,73
0,09	1,449	0,130	2,28	7,78	8,45	14,35	1,70
0,10	1,474	0,147	2,20	7,25	8,29	13,80	1,66
0,15	1,576	0,236	1,91	5,55	7,74	12,03	1,55
0,20	1,651	0,330	1,73	4,52	7,36	10,89	1,48
0,25	1,712	0,428	1,60	3,82	7,06	10,06	1,42

Aus dieser Zusammenstellung ersieht man zunächst, dafs bei abnehmender Wassertiefe die Wellenhöhe sich vergröfsert. Dieses bestätigt die Erfahrung. Sodann bemerkt man, dafs die Werthe von β, also die Schwingungen der untern, oder der vertikalen Theile der Wasserfäden sich gleichfalls vergröfsern. Dieses mufs auch unbedingt geschehn, weil bei einer gewissen Tiefe das obere Wellensystem ganz verschwindet oder der ganze Faden seine lothrechte Stellung stets beibehält. In diesem Falle wird β gleich ϱ.

Ferner vermindert sich r sehr bedeutend und hieraus ergiebt sich unmittelbar, dafs auch die Geschwindigkeit, die Länge und die Periode der Wellen sich vermindern mufs. Die Veränderung der Periode tritt indessen nicht ein, weil man, wie bereits erwähnt, nur diejenigen Wellenscheitel sieht, die aus der offenen See kommen, die also in denselben Zwischenzeiten, in welchen sie dort auf einander folgen, auch auf den Strand auflaufen. Wegen der verminderten Geschwindigkeit treten aber diese Scheitel näher an einander oder die Längen der Wellen vermindern sich.

Wollte man wegen der gleichen Zwischenzeiten die Bedingung einführen, dafs die Wellen auf den verschiedenen Wassertiefen dieselbe Periode oder denselben Werth von τ beibehalten und diesem entsprechend sich ausbilden, so würde hieraus unmittelbar folgen, dafs auch die Geschwindigkeiten und die Längen der Wellen, also zugleich die Abstände je zweier Scheitel dieselben bleiben. Dieses ist beim Auflaufen der Wellen auf Untiefen oder auf den Strand augenscheinlich nicht der Fall. Auch in Beziehung auf die Wellen-

höhe entspricht diese Voraussetzung nicht der wirklichen Erscheinung. Wenn man nämlich die Bedingung einführt, dafs die lebendige Kraft und die Periode, also K und τ, folglich auch r, unverändert bleiben, so ergiebt die Rechnung, dafs bei Abnahme der Wassertiefe P auch ϱ oder die Wellenhöhe sich verkleinert, während die Erfahrung das Gegentheil zeigt.

Wahrscheinlich bildet sich jede Welle, welche auf eine Wasserfläche von geringerer Tiefe getreten ist, dieser letzteren entsprechend vollständig aus. Der Scheitel, den sie hinter sich aufwirft, ist aber, wie bei einmaliger Erregung von Wellen immer geschieht, viel niedriger, als der erste war. Indem nun diesem neuen Scheitel in sehr kurzer Zwischenzeit eine hohe Welle aus der offenen See folgt, so bemerkt man gar nicht jenen zweiten oder secundären Scheitel. Diese Betrachtung zeigt wieder, dafs die Wellenerscheinung bei variabler Tiefe höchst complicirt wird, weil darin verschiedene und von einander ganz unabhängige, aber in ihren Wirkungen gleich kräftige Wellensysteme auftreten, die sämmtlich auf das Phänomen gleichen Einfluſs haben, und dieses daher auf einfache Gesetze nicht mehr zurückführen lassen.

Sehr wichtig ist ferner die Frage, wie weit eine Welle auflaufen kann, bevor die Brandung oder das Ueberneigen des Wellenscheitels beginnt. So lange dieses nicht geschieht, kehrt jeder Wasserfaden, ohne dafs sein Zusammenhang unterbrochen wird, nach einer vollen Wellenperiode wieder in seine frühere Stellung zurück. Dazu ist aber erforderlich, dafs das Durchflufsprofil unter dem untern Wellenscheitel noch hinreichende Gröfse hat, damit die zur Darstellung der folgenden Welle erforderliche Wassermenge hindurch dringen kann. Bei dieser Untersuchung darf man sich unbedenklich auf das in § 3 behandelte Wellensystem beschränken, das für mäfsige Tiefen gilt, oder in welchem die Wasserfäden in ihrer ganzen Höhe unter Beibehaltung der lothrechten Stellung nur hin- und herschwanken.

Die Welle bewegt sich, wenn die Tiefe dieselbe bleibt, unter vollständiger Beibehaltung ihrer Form mit der constanten Geschwindigkeit c. Die Wassermenge, die sie braucht, um ihre vordere Böschung darzustellen, ist zwar zum Theil auch von der Geschwindigkeit abhängig, womit die einzelnen Wasserfäden sich horizontal bewegen. Diese Geschwindigkeit ist aber vergleichungsweise zu der

der Welle sehr klein, und aufserdem im obern Scheitel positiv, im untern negativ und in der Mitte zwischen beiden gleich Null. Wenn es daher nur auf die Berechnung der zur vorderen Böschung der Welle hinzutretenden Wassermasse ankommt, so heben sich die verschiedenen Geschwindigkeiten der betreffenden Wasserfäden annähernd auf, und es genügt, diese Wassermenge allein aus der Bewegung der Welle herzuleiten. In einer Secunde durchläuft die Welle den Weg c, und da sie ihre Form beibehält, so thut dieses auch jeder einzelne Punkt der Wellenlinie. Setzt man die Breite der Welle gleich 1, so mufs in jeder Secunde eine Wassermenge zufliefsen, die einer Fläche gleich ist, deren Breite von oben bis unten c, und deren Höhe gleich der ganzen Wellenhöhe oder 2β ist. Die Wassermenge, welche durch das kleinste Profil tritt, ist daher

$$2\beta c = 2cP\varrho$$

Das Profil hat die Breite 1 und seine Höhe ist

$$P - \beta + \gamma$$

Indem es darauf ankommt, das Verhältnifs der Tiefe zur Wellenhöhe darzustellen, so empfiehlt es sich, alle Gröfsen durch

$$\varrho = \frac{\beta}{P}$$

auszudrücken. Unter Einführung der in § 3 für γ und σ gefundenen Werthe verändert sich der Ausdruck für das Profil in

$$P(1 - \varrho + \tfrac{1}{3}\varrho^2)$$

Die Geschwindigkeit, mit welcher der untere Scheitel der Wellenlinie sich gegen das Wasser bewegt, ergiebt sich am deutlichsten, wenn man die Welle als eine stehende ansieht. Die gesammte Wassermasse wird alsdann in Bewegung gedacht und zwar so, als ob sie mit der Geschwindigkeit c der Richtung der Wellen entgegen gezogen würde. In derselben Richtung bewegen sich aber auch an sich die im untern Scheitel der Welle befindlichen Wasserfäden. Ihre Geschwindigkeit ist gleich v, also relativ gegen die Bewegung der Welle

$$c + v$$

Führt man nun den obigen Ausdruck für v, nämlich

$$v = \frac{c\beta}{P} \cdot \frac{\operatorname{Cos}\varphi\,(1 + \sigma \operatorname{Cos}\varphi)}{1 + 3\sigma \operatorname{Cos}\varphi + 3\sigma^2 \operatorname{Cos}\varphi^2}$$

ein, und berücksichtigt dabei, dafs für den untern Scheitel $\varphi = \pi$,

auch dafs die Geschwindigkeit bereits rückwärts oder negativ gemessen wird, so folgt

$$v = \frac{c\beta}{P} \cdot \frac{1-\sigma}{1-3\sigma+3\sigma^2}$$

also durch Einführung der Gröfse ϱ

$$v = c\varrho \cdot \frac{1-\frac{1}{3}\varrho}{1-\varrho+\frac{1}{3}\varrho^2}$$

daher die ganze relative Geschwindigkeit

$$c+v = \frac{c}{1-\varrho+\frac{1}{3}\varrho^2}$$

Diese Geschwindigkeit mufs nun an der gesuchten Grenze gleich sein der Wassermenge dividirt durch das Profil, also

$$\frac{2c\varrho}{1-\varrho+\frac{1}{3}\varrho^2} = \frac{c}{1-\varrho+\frac{1}{3}\varrho^2}$$

folglich

$$\varrho = \tfrac{1}{2}$$

oder

$$\beta = \tfrac{1}{2} P$$

Die regelmäfsige Wellenbewegung kann also nur erfolgen, wenn die Wassertiefe nicht kleiner ist, als die ganze Wellenhöhe. Es mufs daran erinnert werden, dafs am Schlusse von § 4 eine noch etwas engere Grenze gefunden wurde, nämlich

$$\beta = 0{,}4\,.\,P$$

Dabei war jedoch die Bedingung gestellt, dafs die Reibung vergleichungsweise zur lebendigen Kraft ein Minimum bleiben solle.

Wendet man das hier gefundene Resultat wieder auf jenes obige Beispiel an, indem die lebendige Kraft dieser Wellen

$$L = \tfrac{1}{3}\beta^2 c^2 \pi$$

oder genauer

$$L = \tfrac{1}{3}\beta^2 c^2 \pi (4+5\,.\,\sigma^2)$$

dem für dieses Beispiel gefundenen Zahlenwerthe

$$L = 2g\pi\,.\,4{,}7886$$

gleich gesetzt wird, und aufserdem für β und σ die betreffenden Werthe, nämlich

$$\beta = \tfrac{1}{2} P$$

und

$$\sigma = \tfrac{1}{3}\beta = \tfrac{1}{6} P$$

eingeführt werden, so findet man

$$P = 2{,}031 \text{ Fufs.}$$

Bei dieser Wassertiefe kann sich sonach jene Welle nur so

eben noch ausbilden und bei geringerer Tiefe wird sie schon brechen. Obwohl in dieser Beziehung, soviel bekannt, noch keine Beobachtungen angestellt sind, so dürfte das vorstehende Resultat, welches sich nur auf sehr mäfsige Wellen bezieht, sich annähernd an die Erfahrung anschliefsen.

Die eigenthümlichen Erscheinungen, die jenseits der gefundenen Grenze, alo bei geringeren Wassertiefen eintreten, lassen sich im Allgemeinen leicht übersehn. Die Wasserfäden können, nachdem ein Wellenkamm vorübergegangen ist, nicht vollständig an ihre frühere Stelle zurückkehren. Der folgende Kamm findet daher nicht die Wassermasse vor sich, durch welche seine vordere Dossirung sich vollständig ausbilden könnte. Diese gestaltet sich also steiler, als die hintere, und wenn ein solcher Unterschied auch schon im offenen Meere in Folge der Einwirkung des Windes in geringem Maafse vorhanden zu sein scheint, so stellt er sich doch hier viel auffallender heraus. Die vordere Böschung nimmt nunmehr sogar eine lothrechte Richtung an, und endlich tritt der Kopf der Welle darüber noch hervor, und stürzt, indem ihm jede Unterstützung fehlt, herab. Dieses ist die Brandung, die aber noch durch einen andern Umstand befördert wird.

Der unvollständige Rücklauf des Wassers veranlafst eine Anhäufung desselben vor dem Ufer. Eine solche tritt in der That jedesmal bei heftigen Winden ein, die gegen das Ufer gerichtet sind. Bei starken Stürmen beträgt sie sogar, wie die Wasserstands-Beobachtungen ergeben, bis 3 und 4 Fufs. Man mufs daher wohl annehmen, dafs der Druck des Windes gegen die Wellen schon in weiter Entfernung vom Ufer den regelmäfsigen Rücklauf der einzelnen Wasserfäden einigermaafsen verhindert. Jedenfalls geschieht dieses vorzugsweise da, wo, abgesehn von der Wirkung des Windes, die lebendige Kraft der Welle eine so starke Erhebung des obern und Senkung des untern Scheitels bedingt, dafs die Wassermasse schon aus diesem Grunde nicht in ihre frühere Stelle wieder gelangen kann. Jede Welle würde demnach vor dem Ufer den Wasserstand immer mehr erhöhen, aber hierdurch bildet sich sehr schnell ein Gegendruck, der das Gleichgewicht wieder herstellt. Das aufgetriebene Wasser strömt nach jeder Welle sehr heftig wieder zurück. Auf dem flachen Strande kann man dieses deutlich sehn; man bemerkt auch, dafs diese Strömung den groben Sand und selbst

kleine Steinchen mit sich fortreifst. Die nächste Welle unterbricht freilich auf dem sichtbaren Strande diese Strömung, doch setzt sich die letzte auch unter Wasser fort, und indem hier die Wellenbewegung geringer, als an der Oberfläche ist, so wird der seewärts gerichtete Strom, der nahe über dem Grunde sich bildet, von den Wellen, denen er begegnet, weniger unterbrochen. Er führt alle Gegenstände, die wenig schwerer als das Wasser sind, also nicht fest auf dem Grunde liegen, der See zu. Diese Erscheinung wird von den Strandbewohnern der Ostsee der Sog (das Saugen) genannt, und veranlafst vorzugsweise die Gefahr beim Baden während eines hohen Seeganges, indem die Füfse immer stark seewärts gezogen werden.

Diese untere Strömung übt aber auch auf die anrollenden Wellen eine auffallende Wirkung aus, indem sie die vordringenden Wasserfäden in ihren untern Theilen zurückhält, und dadurch den ganzen Kamm gegen das Ufer neigt, und sein Ueberstürzen oder sein Branden befördert. Der Strom wird indessen beim Begegnen mit einer Welle sehr verzögert, und da bei der Regelmäfsigkeit der Wellen dieses Begegnen immer in bestimmten Zwischenzeiten, folglich auch an denselben Stellen geschieht, so bildet sich dadurch eine eigenthümliche Gestaltung des Grundes. Auf dem Strande selbst reifst jede aufrollende Welle den Sand so wie auch kleinere Steinchen mit sich und wirft sie auf das Ufer. Das zurücklaufende Wasser spült aber diese so eben abgelagerten Körnchen wieder fort, und so befindet sich die Oberfläche der sanft geneigten Ebene oder der eigentliche Strand, wenn derselbe auch jedesmal dieselbe Form wieder annimmt, dennoch in fortwährender Bewegung, wie man dieses beim Auflaufen der Wellen sehr deutlich sieht. Die Böschung darf jedoch nicht steil ansteigen, sonst bilden sich darin stufenförmige Absätze, weil der Stofs der Welle sie an einer oder der andern Stelle zu heftig trifft. Eine solche steile Begrenzung der Stufen wird besonders stark angegriffen und rückt sehr schnell weiter vor, oder das Ufer bricht ab. Die Neigung eines nicht abbrechenden Strandes ist wohl immer flacher, als 1 : 10. Gewöhnlich und namentlich bei heftigen Stürmen, wenn hohe und lange Wellen auflaufen, wird dieselbe aber noch bedeutend geringer und nimmt bis 1 : 20 auch wohl darüber ab.

Diese sanft geneigte Fläche hat solche Breite, dafs auf ihr

kein Zusammenstofs einer neuen Welle mit dem zurücklaufenden Wasser der vorigen statt findet. Wo ein solcher erfolgt, bildet sich jedesmal eine Stufe, oder hier beginnt erst der Strand, und wenn diese Grenze nicht weit genug von dem steiler ansteigenden Ufer entfernt ist, so wird Letzteres zerstört.

Wo der rücklaufende Strom der neuen Welle begegnet, wird er plötzlich unterbrochen und in Folge dessen läfst er den Sand und Kies, den er mit sich führte, fallen. Von hier ab hat das Wasser eine gröfsere Tiefe und wenn daher die seewärts gerichtete Strömung nach dem Vorübergange jeder Welle sich auch wieder neu bildet, oder vielleicht nur verstärkt, so bleibt sie doch schwächer, als sie am Fufse des Strandes war, und hier sammelt sich daher das gröbste Material an. Bei mäfsigem Wellenschlage bemerkt man diese Erscheinungen sehr augenfällig. Der erwähnte Zusammenstofs erfolgt jedesmal etwas unter dem untern Scheitel der auflaufenden Welle. Indem nun aber die Höhe der Wellen nach der Stärke und Richtung des Windes sehr verschieden ist, auch der Wasserstand, selbst in denjenigen Meeren, wo keine merkliche Fluth und Ebbe statt findet, sich vielfach ändert, so erklärt es sich, dafs der Strand bei jedem Sturme sich anders gestaltet. Die Abbrüche und Ablagerungen erfolgen immer in der Art, dafs sie nach den jedesmaligen Verhältnissen einen dauernden Zustand endlich herbeiführen, doch kann dieses nur geschehn, wenn das höhere Ufer hinreichend weit zurückliegt und andrerseits auch die Wassertiefe seewärts nicht so schnell zunimmt, dafs auf der steil abfallenden Fläche alle Sandkörnchen herabrollen.

Man bemerkt leicht, dafs eine solche Ausbildung des Strandes nur möglich ist, wenn das Ufer aus Sand oder Kies besteht. Thon- oder Moorboden und eben so vegetabilische Erde, und selbst Kreide, werden nachdem die Ablösung vom Ufer erfolgt ist, durch den Stofs der Wellen so fein zertheilt, dafs die Masse bei der starken Bewegung gar nicht zu Boden sinkt, also weder einen Strand, noch auch eine steile oder flache Dossirung bildet. Nichts desto weniger sind diese feinen Theilchen specifisch schwerer, als das Seewasser. Wenn daher Letzteres durch sie auch getrübt wird, so schweben sie vorzugsweise in der Nähe des Grundes, und der rücklaufende Strom führt sie in die Tiefe hinab, von wo sie in Folge der geringen Wellenbewegung über dem Grunde nie wieder an das

Ufer zurückkehren. Hierdurch erklärt es sich, weshalb es so überaus schwierig ist, ein thoniges Ufer selbst bei grofser Festigkeit gegen Abbruch zu schützen. Wenn man nicht eine vollständige und sehr solide Uferdeckung davor ausführen will, so bleibt nur übrig, auf Ablagerung grofser Sandmassen vor demselben hinzuwirken und sonach künstlich ein Sandufer zu schaffen.

Dafs die vorstehend bezeichneten Bewegungen der Sand- und Kies-Körnchen wirklich in dieser Weise erfolgen, ergiebt sich besonders augenfällig, wenn man in der Wellenrinne eine Sanddossirung darstellt, und die Wellen dagegen schlagen läfst. Ich bildete zuerst eine flache Böschung, die im Verhältnisse von 1 : 2,5 gegen den Horizont geneigt war, und hing zwischen den Glasscheiben der Rinne das Glimmerblättchen in solcher Höhe auf, dafs es ohne den Sand zu berühren frei ausschwingen konnte. Hierbei zeigte sich sogleich die auffallende Verschiedenheit gegen die frühere Erscheinung, dafs das Blättchen nicht mehr seine lothrechte Stellung behielt, vielmehr, wenn es von der Welle fortgestofsen wurde, sich sehr stark nach vorn überneigte. Hierdurch bestätigt es sich, dafs das aufgetriebene Wasser unter den folgenden Wellen nahe über dem Grunde zurückfliefst.

Sodann wurde die Böschung jedesmal etwa in der Höhe des mittleren Wasserstandes sehr heftig angegriffen. Grofse Sandmassen folgten der Richtung der Welle, aber das zurückfliefsende Wasser führte diese, so wie die oberwärts gelösten Körnchen wieder fort und lagerte beide unterhalb der Stelle ab, wo die ersteren früher gelegen hatten. So bildete sich eine flach geneigte Ebene, die anfangs sehr schnell, später jedoch nur in geringem Maafse sich weiter ausdehnte, und endlich, wie es schien, sich nicht mehr veränderte. Dieselbe befand sich jedoch noch keineswegs im Zustande der Ruhe, vielmehr wurden sämmtliche Körnchen in der Oberfläche von jeder anrollenden Welle in deren Richtung fortgerissen, aber von dem später zurückfliefsenden Wasser wieder abwärts geführt und zwar soweit, bis die folgende Welle diesem Strome begegnete. Bis hieher erstreckte sich also die neue Ablagerung, und darunter lagerte sich der Sand so steil, wie er überhaupt unter Wasser sich lagern kann. Es stürzten freilich jedesmal eine Menge Sandkörnchen auch hier herab, aber sie wurden stets von der nächsten Welle wieder zurückgeführt, ehe sie die Böschung berührten. Eine

Ausnahme hiervon trat nur wiederholentlich in der ersten Zeit ein, so lange die flach geneigte Ebene noch nicht die nöthige Ausdehnung angenommen hatte. Der Sand, der an ihrem obern Ende abbrach, lagerte sich hinter der erwähnten scharfen Kante, und hier wurde die Böschung nach und nach immer steiler, so dafs sie endlich sich nicht mehr erhalten konnte, und plötzlich in grofsen Massen herabstürzte. Hierdurch rückte die Ablagerung etwas weiter gegen das tiefe Wasser vor, doch blieb sie immer im Zusammenhange, und ich konnte nicht bemerken, dafs auch nur ein einziges Körnchen weiter gerollt wäre, als bis es in der nunmehr etwas flacheren Böschung ein sicheres Lager gefunden hatte.

Wenn die Ablagerung unterhalb der erwähnten flach geneigten Ebene sehr steil war, so rifs die dagegen stofsende Welle auch von ihr eine Menge Sandkörnchen ab, die sie aufwärts führte: ich konnte jedoch nicht bemerken, dafs jemals eines derselben auf jene Ebene sich lagerte, vielmehr blieb dieser Sand, so wie derjenige, den der Strom herabführte, im Wasser schweben oder fiel auf die äufsere Böschung nieder.

Diese Beobachtung ergab sonach, dafs die Sandkörnchen nicht gehoben, sondern bei der Veränderung der Böschung nur abwärts getrieben wurden. Ich mufs jedoch erwähnen, dafs der Sand ganz rein ausgewaschen und ziemlich grob war, woher es allerdings denkbar ist, dafs bei stärkerer Wellenbewegung selbst dieser Sand und noch mehr ein feinerer aufwärts getrieben werden mag. Dieses ist in sofern auch wahrscheinlich, als kleine Stückchen Wachs, die ich durch eingedrückte Sandkörnchen beschwert hatte, wirklich heraufgetrieben wurden und in solcher Höhe sich lagerten, dafs sie nur von einzelnen, besonders starken Wellen noch erreicht wurden. Dafs an sandigen Meeresufern während des Sturmes wirklich grofse Massen aufgeworfen werden, leidet keinen Zweifel. Die weit ausgedehnten Ablagerungen, welche die Culturfähigkeit der angrenzenden Felder auf grofse Entfernungen fortwährend beeinträchtigen und oft gänzlich aufheben, zeigt dieses überall. Das Experiment in der Wellenrinne stellte daher, insofern die Bewegung zu schwach war, die Erscheinung nicht vollständig dar.

Nur in dem besondern Falle, wenn die Wellen recht gleichmäfsig erregt wurden, auch die Böschung an sich ziemlich flach war, fand eine sehr merkliche Ablagerung des Sandes an der Stelle statt,

welche von den Scheiteln der Wellen so eben noch erreicht wurde. Der Sand, der aber hier sich anhäufte, war wirklich von tieferen Stellen der Böschung abgebrochen, also durch die Wellen gehoben worden. Um diese Erscheinung herbeizuführen, durfte der obere Abbruch der Dossirung sich nicht steil ausbilden, er mufste vielmehr sehr flach bleiben, damit die Wellenscheitel wirklich noch darüber fortliefen und den gelösten Sand hinauftrieben. Indem nun aber dieser Theil der Böschung schon bedeutend über dem mittleren Stande des Wassers sich befand, und nur eine geringe Wassermasse hier auflief, so versank letztere sogleich in dem Sande und veranlafste deshalb über der Böschung keine Rückströmung, wodurch die Körnchen wieder zurück getrieben wären.

Dieselbe Erscheinung bemerkt man am Seestrande bei jeder Wellenbewegung. Die Rückströmung beginnt immer erst in einiger Entfernung von derjenigen Grenze, bis zu welcher die Welle aufläuft. Nächst derselben versinkt das Wasser im Sande, und die Sandmassen, die es mit sich führte, bleiben als ein schwacher aber dennoch merklicher Rücken liegen, der deutlich wahrnehmen läfst, bis wie weit jede letzte Welle aufgelaufen ist.

Die so eben mitgetheilten Thatsachen beziehn sich nur auf die Erscheinung im Allgemeinen, ohne dafs dabei auf bestimmte Messungen Bezug genommen wäre. Ich habe indessen auch solche in der Wellenrinne angestellt und theile die Resultate von einigen derselben in Fig. 6, 7 und 8 mit. Die Böschungen wurden, nachdem die Rinne bereits mit Wasser angefüllt und der Sand oder Kies vollständig durchnäfst war, mittelst eines dazu besonders eingerichteten Lineals sorgfältig abgestrichen, alle Vertiefungen darin ausgefüllt und der Sand, der vor dem Fufse der Böschung lag, beseitigt.

Fig. 6 zeigt die Veränderungen an einer Böschung, die ursprünglich im Verhältnisse von 3 : 10 gegen den Horizont geneigt war. Sie bestand aus grobem, ausgewaschenem und gesiebtem Seesande, dessen einzelne Körnchen etwa den dritten Theil einer Linie im Durchmesser hielten: auf die Länge von einem Zolle konnte man nämlich eine Reihe sich berührender Körnchen bilden, deren Anzahl nach verschiedenen Versuchen 35 bis 40 betrug. Der Wasserstand in der Rinne maafs 2,24 Zoll. Die Höhenlage des obern und untern Scheitels der Welle im freien Wasser, und des ersteren über

der Böschung ist in der Figur angegeben und mit *o. S.* und *u. S.* bezeichnet. Nachdem 300 Wellen dagegen gelaufen waren, hatte sich bereits jene flach geneigte Ebene sehr merklich dargestellt, wie die fein punktirte Linie angiebt. Weit geringer waren die Aenderungen, welche die folgenden 900 Wellen dabei hervorbrachten. Die hierdurch veranlafste Ablagerung des Sandes ist durch die punktirte Linie bezeichnet, welche die Schraffirung begrenzt. Es ergiebt sich hieraus, dafs der Stofs der 1200 Wellen den Fufs der Dossirung bis etwa einen halben Zoll über der Sohle der Rinne gar nicht verändert und weder Abbruch, noch Ablagerung daselbst veranlafst hatte. Die aufmerksamste Betrachtung liefs hier auch durchaus keine Bewegung der Sandkörnchen wahrnehmen. Die Veränderungen weiter aufwärts waren nur die mittelbare Wirkung der Wellen, indem sich hier der von oben abgebrochene Sand anhäufte und etwa mit zweifacher Anlage sich ablagerte. Vorübergehend, wie auch die Figur angiebt, hatte er sich merklich steiler gestellt. Die flache Ebene, auf der der Sand immer hin- und hergetrieben wurde, hatte im Allgemeinen eine zehnfache Anlage oder zehnfüfsige Böschung angenommen. Weiter aufwärts wurde die Dossirung bedeutend steiler, doch versank hier grofsentheils das aufschlagende Wasser, ohne auf der Oberfläche zurückzufliefsen. Endlich bemerkt man in einer Höhe, welche nur von einzelnen besonders grofsen Wellen erreicht wurde, einen nahe 1 Zoll breiten und $\frac{1}{3}$ Zoll hohen Rücken, der über der ursprünglichen Böschung aufgeworfen wurde, also augenscheinlich aus einer Sandmasse bestand, die durch den Stofs der Wellen aufwärts geschleudert war.

Die in den Figuren 7 und 8 dargestellten Böschungen bestanden aus gröberem, gleichfalls gesiebtem Kiese, dessen Körner nahe 1 Linie im Durchmesser hielten: auf einen Zoll Länge konnten nämlich 12 bis 14 derselben neben einander geschoben werden. Die Böschungen hatten ursprünglich zweifache Anlage erhalten. Die dabei nach und nach eingetretenen Aenderungen bezeichnen die Figuren in gleicher Weise, wie vorstehend angegeben. Man bemerkt, dafs die Ablagerungen sich viel steiler, als bei dem feineren Sande dossiren und stellenweise sogar in einer Neigung von 45 Graden sich erhalten. Die Ebenen, auf denen der Kies bei jeder Welle hin- und hertrieb, haben in Fig. 7 eine zehnfache und in Fig. 8 sogar eine vierzehnfache Anlage. Sehr auffallend ist der Unterschied

in der Breite dieser Ebenen, und ohne Zweifel rührt dieser von der verschiedenen Geschwindigkeit der Wellen her. Letztere verhalten sich nach der früheren Auseinandersetzung, wie die Quadratwurzeln der Wassertiefen, und in diesem Verhältnisse stehn auch ungefähr die Breiten jener Ebenen zu einander. Die Abbrüche im obern Theile der Böschungen waren sehr steil dossirt und oft hing der äufserte Rand frei über: er befand sich aber stets in solcher Höhe, dafs er von den Wellen gar nicht erreicht wurde.

Wenn diese mittelst der Wellenrinne angestellten Beobachtungen mit den Erscheinungen am Strande des Meeres eine unverkennbare Aehnlichkeit zeigen, so stellen sie die letzteren doch keineswegs vollständig dar, und dieses darf nicht befremden, insofern die Bewegung des Wassers in der Rinne sehr geringe, das Material dagegen, welches die Dossirung bildete, schon bedeutend gröber war, als es am Seestrande zu sein pflegt. Aus diesem Grunde konnten die Veränderungen der Böschung nur an den Stellen eintreten, wo sie am auffallendsten sind. Eine wichtige Erscheinung, die sich in der Natur sehr häufig wiederholt und bei flacher Ansteigung des Grundes vielleicht jedesmal vorkommt, gab sich daher in jenem Versuche gar nicht zu erkennen. Sie besteht darin, dafs seewärts vor dem eigentlichen Strande mehrere erhöhte Rücken in gewissen Abständen sich erheben, deren Höhe zunächst dem Ufer am gröfsten ist, die aber weiterhin niedriger werden und bei zunehmender Tiefe kaum noch zu bemerken sind. Man nennt sie Riffe und gewöhnlich nimmt man an, dafs immer drei derselben in paralleler Richtung sich vor dem Ufer hinziehn. Ihre Anzahl ist indessen keineswegs constant, und oft kann man bei sorgfältiger Peilung vier oder fünf derselben wahrnehmen, doch liegen die äufseren schon tief und erheben sich so wenig über den Grund, dafs sie nicht leicht zu bemerken sind. Diese Riffe sind es vorzugsweise, welche die Annäherung selbst von kleineren Fahrzeugen an das Ufer verhindern, indem diese, dem vollen Wellenschlage ausgesetzt, auf die Riffe festfahren.

Ohne Zweifel werden solche Rücken durch den Wellenschlag gebildet, und sie entstehn bei heftigem Sturme an denjenigen Stellen, wo die Wellen aus der See mit den rücklaufenden Wellen, oder mit dem verstärkten Rückstrome, den jede derselben veranlafst, sich begegnen. Indem ich hoffte, dafs auch diese Erscheinung im

kleinen Experimente sich wenigstens theilweise darstellen und die dafür gegebene Erklärung bestätigen würde, so gab ich der Wellenrinne selbst zuerst eine Neigung von 1 zu 15 und sodann von 1 zu 10, so dafs also von der Stelle ab, wo die Wellen erregt wurden, die Tiefe immer geringer wurde und endlich die Oberfläche des Wassers den Boden berührte. Letzteren bestreute ich zunächst mit dem ausgewaschenen groben Seesande, und als ich bemerkte, dafs dieser sich gar nicht bewegte, mit sehr feinem fast staubartigen Sande. Wie schnell ich aber auch den Apparat in Betrieb setzte, und wie weit ich auch die Scheibe ausschwingen liefs, so mifsrieth dennoch dieser Versuch vollständig. Die Reibung im Wasser war so grofs, dafs die den Wellen mitgetheilte lebendige Kraft sich jedesmal schwächte, und die Wellen beim Auflaufen auf den ansteigenden Grund immer niedriger wurden und keine Rückströmung bemerken liefsen. Der Sand kam daher gar nicht in Bewegung, jedes einzelne Körnchen blieb unverändert an seiner Stelle und nur neben der Begrenzung des stehenden Wassers wurde ein schmaler Streifen des Bodens der Rinne sichtbar. Der Versuch war nur in sofern interessant, als die Wellen, je weiter sie sich von der Erregungsstelle entfernten, immer kürzer wurden, oder ihre obern Scheitel näher zusammenrückten. Hierdurch bestätigt sich wieder, dafs ihre Geschwindigkeit bei abnehmender Tiefe sich vermindert.

Das Entstehen der erwähnten Riffe oder Rücken, die stets unter dem jedesmaligen mittleren Wasserstande bleiben, beweist, dafs die Wellen nicht allein unmittelbar vor dem Strande, sondern auch in weiterem Abstande und in gröfserer Tiefe den daselbst abgelagerten Sand in Bewegung setzen, und denselben bei heftigem Sturme wahrscheinlich in grofser Masse nach dem Ufer treiben. Es wäre sonst in den meisten Fällen unerklärlich, wie der Sand stellenweise sich so stark anhäufen und vom Seewinde getrieben die dahinter belegenen Felder bedecken könnte. Vielleicht wird indessen von dieser grofsen Masse während des Sturmes nur ein kleiner Theil über den Spiegel der See aufgeworfen, und derselbe tritt nur dadurch zu Tage, dafs nach dem Sturme die Anschwellung aufhört und der Wasserstand wieder auf sein gewöhnliches Maafs zurücksinkt. Sobald Letzteres geschieht, bemerkt man nämlich, dafs dasjenige Riff, welches dem Ufer am nächsten liegt, demselben sich stark genähert hat und zugleich so angewachsen ist, dafs es über Wasser

liegt. Es bildet eine schmale Zunge, die sich vielfach an den Strand anschliefst, und über welche einzelne Wellen noch herüberschlagen und die dahinter belegenen Lachen theilweise mit neuem Sande ausfüllen. Sobald das Wasser seinen gewöhnlichen Stand annimmt, ragen diese flachen Rücken 1 bis 2 Fufs darüber hervor, und indem sie trocken werden, so füllen jene Lachen sich vollständig aus, der Strand gewinnt an Breite und bei anhaltendem schwächeren Seewinde fliegt der Sand, aus dem sie bestehn, nach den Dünen und auf die dahinter belegenen Flächen.

Es dürfte keine gewagte Voraussetzung sein, dafs der Sand, der von der seewärts gerichteten Strömung herabgeführt wird, nicht über diejenige Grenze hinaustritt, wo die Wellen ihn wieder in Bewegung setzen und ihn daher möglicher Weise auch wieder nach dem Ufer zurückführen können. Dafs es eine gewisse Grenze giebt, welche der Sand nicht überschreitet, habe ich sehr auffallend vor der Insel Wangeroog gesehn, als ich zur Zeit einer Springfluth während der Ebbe dem zurücktretenden Wasser folgte und plötzlich die Sanddecke aufhören sah, und den festen Klai- oder Marschboden betrat, der ganz frei von Sand war. Hiermit hängt auch die Erscheinung zusammen, dafs vor Pillau, wo die Ufer theils hoch mit Sand bedeckt sind, theils ganz aus Sandablagerungen bestehn, und wo auch das tiefe Fahrwasser über dem Sande sich hinzieht, dennoch der Grund der Rhede nur zäher Thon, und ganz frei von Sand ist. Man kann dieses sehr deutlich wahrnehmen, wenn man den Boden untersucht, welcher an den gehobenen Ankern haftet.

Von grofser Wichtigkeit und zwar besonders in Bezug auf den Hafenbau ist das Verhalten der Wellen, wenn sie senkrechte oder sehr steile Ufer treffen. Es ergiebt sich aus den bereits entwickelten Gesetzen, dafs die Schwingungen der zunächst an der senkrechten Wand befindlichen Wasserfäden ganz aufhören müssen, und der erhaltene Impuls nur auf ihre periodische Verlängerung und Verkürzung, oder auf Hebung und Senkung der Oberfläche wirken kann. Der Fufs dieser Wasserfäden bleibt unverändert an seiner Stelle, der Boden darunter ist daher keinem merklichen Angriffe ausgesetzt. Die Beobachtungen, die ich in der Wellenrinne anstellte, bestätigten dieses vollständig. Das Glimmerblättchen blieb vor einer senkrechten Wand, die bis über den Wasserspiegel herausragte, unverändert in seiner Lage. Nur wenn es zufällig eine schräge Rich-

tung annahm, so legte es sich fest an die Wand, und trennte sich nicht wieder von derselben. Die Wellen hoben und senkten sich in den Scheiteln auffallend stärker, als in einiger Entfernung, aber hierin allein gab sich die Wellenbewegung an dieser Stelle noch zu erkennen. Ich bestreute den Boden der Rinne mit dem feinsten Sande, der durch sorgfältiges Auswaschen vom Staube gereinigt war. Auch dieser blieb neben der Wand ganz unbewegt liegen, ohne dafs irgend ein Körnchen hin- und hergerollt oder fortgetrieben wäre. Die Bewegung des Wassers ist also in diesem Falle wesentlich von derjenigen verschieden, welche auf flachen Dossirungen eintritt. Auf solchen nimmt die ganze Masse eine starke horizontale Bewegung an und reifst Sand und Steine mit sich fort, vor der senkrechten Wand erfolgt dagegen nur Hebung und Senkung des Wassers, und jede Einwirkung auf den Boden hört auf.

Ganz dasselbe, was diese Beobachtungen im Kleinen zeigten, wiederholt sich auch in den Erscheinungen an steilen Meeresküsten. In den Vernehmungen, die auf Veranlassung des Parlaments in Betreff des Hafens von Dover statt fanden, machte der Capitän James Vetch die Mittheilung,*) dafs er beim Ausgehn aus dem kleinen Hafen Scarnish auf der Insel Tiree in einem leichten Fahrzeuge (von 25 Last) durch einen heftigen Wind gegen eine steile Felswand getrieben sei, die etwa 60 Grade gegen den Horizont geneigt war, und dafs das Fahrzeug sich wiederholentlich nur hob und senkte, ohne den Felsen zu berühren, obwohl es keinen vollen Yard davon entfernt war.

Bei derselben Gelegenheit erwähnte der Professor Airy**), er sei einst zur Zeit des Hochwassers und zwar bei starkem Seegange aus dem Hafen Swansea gerudert, während neben den steilen Köpfen der Hafendämme die Wassertiefe etwa 20 Fufs betrug. Wir fuhren, sagt er, an dem einen Kopfe so nahe vorbei, dafs wir ihn mit den Rudern berühren konnten, es fand hier aber keine Brandung statt und wir durften das Aufstofsen des Bootes nicht fürchten, obwohl dasselbe viele Fufs hoch sich abwechselnd hob und senkte. Kaum waren wir indessen etwa 200 Yards weiter gekommen,

---

*) Report on the harbour of Refuge to be constructed in Dover-Bay. London 1847. pag. 53.

**) Ebendaselbst, pag. 88.

als wir uns vor einer flachen Bank befanden, und hier brandete die See so stark, dafs sie zwei Mann über Bord schlug und das Boot mit Wasser anfüllte. Derselbe erwähnte ferner, er sei bei andrer Gelegenheit an einigen der aus tiefem Wasser senkrecht aufsteigenden Felsen an der Ostseite des Cap Lizard vorbeigerudert und habe auch hier gesehn, dafs die Wellen nicht brachen, aber auf den flach ansteigenden sandigen Ufern bei Cadgwith sei gleichzeitig hohe Brandung gewesen. Ein ausgezeichneter Ingenieur habe ihm auch erzählt, wie sehr er überrascht worden, als er gesehn, dafs vor den Klippen, die aus dem tiefen Wasser in der Bai von Valencia sich erheben, die hohen Wellen keine Brandung bemerken liefsen.

Dieselbe Erfahrung machte ich auch, als ich bei mäfsigem Seegange aus der Bai von Vigo im nördlichen Spanien nach der portugiesischen Küste fuhr. Die Südseite der Insel Bajona wurde von den Wellen getroffen, dieselben brandeten aber nicht, so weit sie gegen die steil ansteigende Felswand schlugen. Ostwärts dagegen liegt vor den Felsen ein sandiges Ufer und hier fand eine heftige Brandung statt, die sich noch in meilenweiter Entfernung durch den weifsen Schaum zu erkennen gab.

Indem diese Thatsachen unverkennbar dafür sprechen, dafs auch an der See vor steilen Ufern die horizontale Bewegung aufhört, so folgt hieraus wieder, dafs unmittelbar über dem Grunde, wo aufserdem auch die vertikale Bewegung sehr geringe ist, beinahe vollständige Ruhe stattfinden mufs, und dafs sonach hier durch den Wellenschlag Sand oder Kies weder abgelagert, noch auch abgeführt wird. Als der neue Hafendamm vor Dover erbaut werden sollte, der ganz steil aus der Tiefe von etwa 40 Fufs unter Niedrig-Wasser ansteigt, besorgte man, dafs der Kreideboden unter ihm durch den Wellenschlag ausgewaschen und er dadurch bedroht werden möchte. Diese Besorgnifs hat sich indessen nicht bestätigt. Auch sonstige Erfahrungen begründen keineswegs die Vermuthung, dafs der Wellenschlag vor senkrechten Wänden eine grofse Vertiefung erzeugt. Auf der westlichen Seite von Colberger-Münde ist ein Werk auf der Düne durch eine Steinböschung geschützt, die sich gegen eine senkrechte Holzwand lehnt. Vor der letzteren, obwohl sie dem vollen Wellenschlage der See ausgesetzt ist, bildet sich niemals eine solche Tiefe aus, welche die Wand selbst in Gefahr brächte. Nur die Strömung

ist hier wirksam, indem sie bald den Sand davor ablagert, oft sogar bis über Wasser hebt, und bald ihn wieder forttreibt.

Das bei uns allgemein verbreitete Vorurtheil, dafs steile Wände an der See und selbst im Innern der Häfen nicht haltbar sind, weil die Wellen den Grund darunter fortspülen, beruht allein darauf, dafs man die Erfahrungen, die an Strömen gemacht sind, auf die See überträgt, und die Wirkung der Strömung mit der des Wellenschlages verwechselt.

Es bleibt noch übrig, den Stofs der Wellen zu erörtern, der bei Hafenbauten häufig die verheerendsten Wirkungen veranlafst. Wenn eine Landebrücke so niedrig liegt, dafs ihr Belag von den Wellen erreicht wird, so kann dieser dem Stofse der letztern nicht widerstehn, die Nägel oder Bolzen, womit die Bohlen befestigt sind, werden in kürzester Zeit gelöst und ausgerissen, oder die Bohlen zerbrochen, so wie auch die Balken aus den Zapfen gehoben werden. Um die Brücke zu sichern, mufs das Aufsteigen der Welle möglichst wenig verhindert sein, der Belag mufs daher aus Latten bestehn, die unten zugeschärft sind, und durch deren weite Fugen das Wasser hindurchtreten kann.

Sobald die vertikale Bewegung des Wassers kein Hindernifs findet, so äufsert sich bei gröfserer Tiefe keine zerstörende Wirkung. Rendel bemerkte bei Ausführung des Hafendammes bei Portland, dafs die Rüstpfähle, die im tiefen Wasser eingerammt waren, auch bei den heftigsten Stürmen nicht beschädigt wurden. In gleicher Weise erlitt die Pfahlwand, die zur Verlängerung des westlichen Hafendammes bei Stolpmünde nach meinem Vorschlage auf der innern Seite dieses Dammes vor der Ausführung der Steinschüttung, also in offener See, eingerammt wurde, keine Beschädigung. Die Gefahr für solche Wände oder einzelne Pfähle tritt erst ein, wenn sie hinter natürlichen oder künstlichen steilen Böschungen sich befinden, wo die ganze Wassermasse der Welle schon eine starke horizontale Bewegung angenommen hat. Der Stofs, den die Wellen alsdann ausüben, ist oft überraschend grofs. Schon an der Ostsee werden die flach dossirten und über Wasser abgepflasterten Hafendämme, so oft sie in tiefes Wasser treten, gewöhnlich bald nach ihrer Herstellung in der Oberfläche zerstört. An der innern Seite des östlichen Dammes von Swinemünde hat sich ein vollständiges Banket aus grofsen Steinen abgelagert, die sämmtlich bei nord-öst-

lichen Stürmen von der seeseitigen flachen Dossirung herübergeworfen sind. Der Wärter des kleinen Leuchtthurmes auf dem Kopfe der östlichen Mole, der während des heftigen Sturmes in den letzten Tagen des Jahres 1857, von aller Verbindung mit dem Lande abgeschnitten, drei Tage hindurch in dem massiven Unterbau sich aufhalten mufste, sagte aus, dafs einer der grofsen Schwedischen gesprengten Granitblöcke, von etwa 50 Cubikfufs Inhalt, wiederholentlich gegen diesen Unterbau geschleudert, und derselbe dadurch so erschüttert worden, dafs er seinen Einsturz jedesmal gefürchtet hätte, bis endlich eine Welle ihm eine andere Richtung gegeben und er neben dem Thurme über die Krone des Dammes fort in den Hafen geworfen sei. Einer ähnlichen noch viel auffallenderen Thatsache erwähnt Thomas Stevenson.*) Beim Beginne des Leuchtthurm-Baues auf Barrahead, einer der Hebridischen Inseln, erzählten ihm die Einwohner, dafs ein Gneifs-Block am Strande, der 9 Fufs lang, 8 Fufs breit und 7 Fufs hoch war, also etwa 500 Cubikfufs (Englisches Maafs) hielt, bei heftigem Sturme von den Wellen hin- und hergerollt werde. Wie unglaublich diese Mittheilung erschien, so wurde sie doch im Januar 1836 bestätigt. Die ankommende Welle verbarg und begrub jedesmal den Stein, und ihr Scheitel erreichte in der Höhe von 40 Fufs über dem Hochwasser-Spiegel das Ufer. Sobald die Welle den Stein verliefs, bemerkte man, dafs er weiter landwärts lag, das zurückfliefsende Wasser stiefs ihn aber wieder nach der See, worauf er nahe trocken wurde, bis eine folgende Welle ihn aufs Neue in derselben Art bewegte.

Auch die beim Bau des Wellenbrechers vor Cherbourg gemachten Erfahrungen stimmen hiermit überein. Auf dem östlichen Flügel waren nicht nur seit langer Zeit die seeseitigen Dossirungen durch Steinschüttung gebildet und diese theilweise mit Béton-Blöcken von 20 Cubikmeter oder 640 Cubikfufs Inhalt überdeckt, sondern es war auch eine beinahe senkrechte Mauer von 19 Fufs Höhe auf der Krone aufgeführt. Beim Gegenschlagen an diese Mauer erhoben sich die Wellen, wie man schon 1835 wahrnahm, oft mehr als 30 und 40 Meter (95 bis 130 Rheinl. Fufs). Auf sehr heftige Angriffe mufste man daher gefafst sein. Beim ungewöhnlichen Nord-Nord-Ost-Sturme am 25. December 1836 traten auch in der That sehr

*) In dem bereits bezeichneten Bande der Report's, pag. 108.

grofse Beschädigungen ein, und was hier besonders Erwähnung verdient, mehr als 200 der natürlichen Steine, welche die Dossirung bildeten, waren über die Mauer hinübergeworfen und lagen auf der südlichen Risberme. Mehrere wogen über 3000 Kilogramme. An der östlichen Ecke waren auch die grofsen Béton-Blöcke in Bewegung gekommen und zum Theil bis 20 Meter weit fortgetrieben. Zwei derselben waren dabei umgekehrt.*)

Endlich erwähne ich noch eine Thatsache, auf welche ich bei meiner Anwesenheit in Cette durch den dortigen Ingenieur aufmerksam gemacht wurde. Zum Schutze der alten Steinschüttung, welche die Dossirung des Wellenbrechers bildet, waren sehr grofse Béton-Blöcke, nämlich von 70 Cubikmeter oder von 2240 Rheinl. Cubikfufs aus Bruchsteinen aufgemauert worden. Sie hatten keine parallelopipädische Form, und waren vielmehr in der Mitte höher, als an den Enden, damit sie von den anlaufenden Wellen nicht zu heftig getroffen werden möchten. Ihre Länge maafs 7 Meter, ihre Breite 5 Meter und ihre Höhe in der Mitte 3 und an den Enden 1,5 Meter. Drei dieser Steine hatte man auf der flach ansteigenden Dossirung normal gegen das Ufer, so dafs also nur eine Fläche von 7,5 Quadratmeter dem Stofse der Wellen ausgesetzt war, in geringem Abstande von einander und in gleicher Richtung ausgeführt. Bei dem Sturme am 20. August 1857 war der mittlere dieser Steine 1 Meter weit die Dossirung heraufgeschoben. Andere isolirt liegende Blöcke schienen noch weiter bewegt zu sein, doch liefs sich der Weg, den sie gemacht hatten, nicht sicher bestimmen. Wenn man nun auch darauf Rücksicht nimmt, dafs unter der darüber laufenden Welle ein grofser Theil des Gewichtes aufgehoben wurde, so mufste die Welle doch einen Effect ausgeübt haben, der wenigstens einem Drucke von 1000 Pfund auf den Rheinländischen Quadratfufs entsprach.

Der bereits erwähnte Ingenieur Th. Stevenson in Edinburg bemühte sich, den Stofs der Wellen durch directe Beobachtung zu messen.**) Er construirte zu diesem Zwecke ein eigenes Instrument, von ihm Marine-Dynamometer benannt, das Fig. 14, a und b

*) Travaux d'Achévement de la digue de Cherbourg par J. Bonnin. Paris 1857. pag. 60.

**) In demselben Bande der Report's, pag. 105 ff.

in der Seitenansicht und im Querdurchschnitt gezeichnet ist. Dasselbe besteht aus einem gufseisernen Cylinder von 8 Zoll Länge und 4 Zoll äufserem Durchmesser. An dem einen Ende desselben ist der Boden angegossen, am andern befindet sich ein vortretender Rand, woran man einen Deckel mit Schrauben befestigen kann. Zwei andere Ränder an beiden Seiten des Cylinders und parallel zur Achse desselben dienen zu seiner Befestigung, indem Bolzen, die in die vorher zugerichtete Klippe eingelassen waren, hindurchreichen und durch Schraubenmuttern die Verbindung darstellen. Dieser Cylinder wurde seitwärts an einen vortretenden Felskopf so befestigt, dafs die Wellen in der Richtung seiner Achse dagegenschlugen, diese Achse war aber horizontal, weil es darauf ankam, den horizontalen Stofs zu messen. Die Höhe mufste so gewählt werden, dafs man bei Niedrigwasser noch bequem hinzukommen und die Ablesung vornehmen konnte, zu diesem Zwecke durfte das Instrument nicht niedriger liegen, als etwa auf drei Viertel der gewöhnlichen Fluthhöhe über Niedrigwasser. Durch den Boden und den aufgeschrobenen Deckel, der seewärts gekehrt wurde, waren übereinstimmend vier Löcher gebohrt, durch welche eben so viele eiserne Stangen hindurchreichten. Diese trugen an der Seeseite die vertikale Scheibe, welche den Stofs empfing. Der Durchmesser derselben maafs gemeinhin 6 Zoll, doch konnten auch Scheiben von 3 und 9 Zoll aufgesetzt werden. Im Innern des Cylinders war an jenen Stangen noch eine andere Scheibe angebracht, die nur zur Befestigung von vier starken Spiralfedern diente. Letztere befanden sich zwischen dieser Scheibe und dem äufsern Deckel, und waren mit beiden fest verbunden. Beim Stofse der Wellen zogen sie sich daher weiter aus, und um zu sehn, wie weit dieses beim stärksten Stofse geschehn war, so wurden auf die hintern Enden der Stangen und zwar noch innerhalb des Cylinders, je vier Lederstückchen aufgezogen, die beim Zurückgehn der Stangen an den Boden stiefsen und verschoben wurden. Es legten sich alsdann an jeder einzelnen Stange mehrere derselben Lederscheiben dicht an einander, und wenn sie in dieser Stellung befunden wurden, so durfte man annehmen, dafs sie sich nicht später verschoben hätten. Aufserdem zeigte auch die übereinstimmende Lage der Scheiben an allen vier Stangen jedesmal, dafs eine Verschiebung nicht vorgekommen war. Die erwähnten Federn konnten gleichfalls [zur nöthigen Abwechse-

lung der Versuche mit andern, die stärker oder schwächer waren, vertauscht werden. Zur Ablesung der stärksten eingetretenen Bewegungen befand sich in dem Cylinder eine Thüre, durch welche man den Abstand zwischen dem hintern Boden des Cylinders und den Scheiben im Innern messen, oder vielmehr auf den eingetheilten Stangen ablesen konnte. Vor der Befestigung des Cylinders wurden die Federn untersucht, indem man bei aufrechter Stellung des Cylinders auf die äufsere Scheibe verschiedene Gewichte aufbrachte und zusah, bis zu welchen Theilstrichen die Stangen jedesmal zurückgingen.

Mit diesem Instrumente wurden an drei verschiedenen Orten Messungen gemacht, nämlich an der Irischen See auf Little Rofs, im Atlantischen Meere auf der Insel Tyree und in der Nordsee auf Bell-Rock. Am wichtigsten sind die Beobachtungen für den Atlantischen Ocean, die ohne Unterbrechung 23 Monate hindurch fortgesetzt wurden, sie ergaben für die stärksten Stürme während der Sommermonate den Druck der Welle auf den Quadratfufs Oberfläche durchschnittlich 611 Pfund, und während der Wintermonate 2086 Pfund. Der stärkste Druck, der überhaupt beobachtet wurde, betrug 6083 Pfund. Auf Rheinländisches Flächenmaafs und deutsches Gewicht reducirt, verwandeln sich diese Pressungen in 588, 2007 und 5852 Pfund. Der gröfste in der Nordsee beobachtete Druck der Wellen betrug dagegen nur 2959 Pfund deutschen Gewichtes auf den Rheinländischen Quadratfufs.

Offenbar haben diese Resultate selbst für eine bestimmte Localität keine allgemeine Gültigkeit, und sind gewifs vorzugsweise davon abhängig, in welcher Art die Wellen auflaufen, und ob deren Wassermasse schon entschieden die fortschreitende Bewegung angenommen hat. Sodann ist es zweifelhaft, ob der Stofs der Welle der Ausdehnung der getroffenen Scheibe proportional ist, und wahrscheinlich wird dieser bei derselben Welle, wenn man ihn in verschiedenen Höhen mifst, auch sehr verschiedene Werthe annehmen. Endlich aber ist die Vergleichung des Stofses mit dem Drucke jedesmal sehr zweifelhaft, und so mag es auch bei diesen Versuchen vorgekommen sein, dafs die schwere Scheibe, während die Feder noch nicht auf sie einwirkte, eine so starke Bewegung annahm, dafs sie in Folge ihres Trägheits-Momentes weiter zurückwich, als der Druck des Wassers es erfordert hätte.

Nichts desto weniger bieten diese Messungen doch einen ungefähren Anhalt. Wenn der Druck nur als ein statischer betrachtet werden dürfte, so müfste bei einer Pressung von 3000 und 6000 Pfund auf den Quadratfufs der obere Wellenscheitel 48,5 und 97 Fufs über dem Instrumente liegen. Solche Höhen der Wellen kommen vor stufenförmig oder steil ansteigenden Ufern, die tiefes Wasser vor sich haben, unbedingt vor. Selbst in der Ostsee, wo doch die Tiefe nur mäfsig ist, auch Sandbänke vor den Ufern liegen, erreicht die Brandung unter besondern Umständen schon eine ähnliche Höhe. Bei dem heftigen Weststurme im October 1828 kam eine auf der Rhede von Pillau ankernde Brigg ins Treiben, und da sie weder fortsegeln, noch über die Barre gehn konnte, so wurden die Segel beigesetzt und vor dem Winde lief sie auf den Strand. Als sie zum erstenmale den Grund berührte, erhob sich hinter ihr eine Welle welche die Bramstengen überragte, also wenigstens 70 Fufs hoch sein mufste. Diese Welle warf das Schiff aber weit auf den Strand und die folgenden Wellen erreichten daher nicht entfernt solche Höhe. Am Bell-Rock und andern auf isolirten Klippen erbauten Leuchtthürmen sind Erscheinungen dieser Art nicht ungewöhnlich und nach manchen Mittheilungen sollen es hier zusammenhängende Wassermassen sein, die sich so hoch erheben. An der Küste von Cornwall beobachtete man 1843 Wellen von 300 und bei Wasberg in Norwegen sogar von 400 Fufs Höhe.

Dafs die Wellen sich nur in dem Falle vollständig ausbilden und die der Stärke des Windes entsprechende Höhe annehmen, wenn die Wasserflächen hinreichende Ausdehnung haben, ist an sich einleuchtend. Hieraus ergiebt sich auch, dafs die Wellen mäfsig bleiben müssen, wenn die See in der Richtung des Windes nur geringe Breite hat, oder wenn in gröfseren Meeren vortretende Landzungen oder ausgedehnte Inseln in geringer Entfernung gegenüber liegen. In Memel ist der Wellenschlag bei westlichen Stürmen am stärksten, weil hier die Wasserfläche in dieser Richtung bis zur Schwedischen Küste von Skaane etwa 60 deutsche Meilen mifst. Auch bei Pillau stellt sich dasselbe Verhältnifs dar, sobald der Wind nicht soweit südlich geht, dafs Rixhöft die Rhede deckt. In Swinemünde dagegen veranlassen westliche Stürme, obwohl sie auf der nördlichen Hemisphäre besonders stark aufzutreten pflegen, nur mäfsige Wellen, weil die Inseln Usedom, Rügen und selbst die Dänischen

Inseln in dieser Richtung die Wasserfläche in geringer Entfernung begrenzen. Dagegen streicht hier der Nord-Ost von dem Ende des Finnischen Meerbusens bei Gottland und Bornholm vorbei, etwa 100 deutsche Meilen über das Wasser und verursacht daher den höchsten Seegang. Man darf indessen nicht glauben, dafs die seitwärts belegenen Ufer und Inseln sogleich den Wellenschlag merklich mäfsigen, wenn der Wind sich soweit ändert, dafs seine Richtung sie zum Theil trifft. In Pillau konnte man keine Schwächung des Wellenschlages wahrnehmen, wenn der Wind aus Nordwest nach West und selbst weiter südlich ging, obwohl alsdann das Ufer von Rixhöft schon stark vortrat. Stevenson leitete aus Beobachtungen, die er am Frith of Forth und an dem Murray-Firth angestellt hatte, die Regel ab, dafs die Höhen der Wellen bei verschiedenen gleich starken Stürmen sich zu einander verhalten, wie die Quadratwurzeln der Entfernungen der windwärts belegenen Küsten.*)

§. 6.

Fluth und Ebbe im offenen Meere.

Unabhängig von den vorstehend untersuchten Wellen, die in geringen Entfernungen sich hinter einander bilden, und deren Länge und Geschwindigkeit, so wie die Richtung ihrer Bewegung man leicht wahrnehmen kann, giebt es in den grofsen Meeren noch andre Wellen, die zwar noch schneller fortschreiten, deren Länge aber so riesenmäfsig ist, dafs man sie nur an dem abwechselnden Steigen und Fallen des Wassers erkennt. Dieses ist die Fluth und Ebbe.

An den Europäischen Küsten des Atlantischen Oceans und der Nordsee erhebt sich zweimal am Tage der Wasserspiegel durchschnittlich vielleicht 12 Fufs, und sinkt zweimal wieder eben so tief herab. Die Sandbänke und Schlickgründe vor den Hafen-Mündungen werden dadurch abwechselnd überfluthet und mehr oder weniger trocken gelegt. Der Wasserstand auf denselben ist daher so verschieden, dafs die meisten der dortigen Häfen nur zur Zeit des Hochwassers zugänglich sind. Die Fluth und Ebbe ist demnach

*) New Edinburgh Philosophical Journal. Vol. 53, pag. 358.

für den Schiffahrts-Betrieb von der äufsersten Bedeutung und dieses um so mehr, als der Wasserwechsel auch starke Strömungen veranlafst, welche bald in einer und bald in der andern Richtung sich bilden.

Diese Strömungen verbunden mit dem Wellenschlage, der bei dem wechselnden Wasserstande sehr verschiedene Angriffspunkte findet, äufsern auf jedes Ufer wieder zerstörende Wirkungen. Indem das abgebrochene Material aber sogleich vom Strome weitergetrieben wird, so kann sich an der offenen Küste keine Ablagerung bilden, welche den Uferrand vor neuen Angriffen schützt, und der Abbruch setzt sich unaufhaltsam immer weiter fort. An den grofsen Meeren, welche starken Fluthwechsel zeigen, findet man kein höheres Ufer, welches durch Alluvion entstanden wäre. Solche sind überall im Laufe der Zeit längst verschwunden, nur der gewachsene Felsboden, obwohl er auch fortwährend angegriffen wird, bestimmt vorzugsweise dem Meere seine Grenzen, und zwischen solchen Festpunkten zieht sich ein flacher Strand, aus Kies oder Sand bestehend, hin, der grofsentheils aber wieder in einer langsamen fortschreitenden Bewegung begriffen ist. In Meeren, wie die Ostsee, die keine merkliche Fluth und Ebbe, noch auch die damit verbundenen starken Strömungen zeigen, ist das Verhältnifs zum Theil ein Anderes. Die hohen, aus aufgeschwemmtem Boden bestehenden, fruchtbaren Ufer, die sie vielfach umgeben, weichen zwar auch von Jahrhundert zu Jahrhundert mehr zurück, aber sie sind noch vorhanden, während man solche an grofsen Meeren vergeblich sucht.

Die erwähnten Strömungen setzen, besonders wenn der Wellenschlag ihre Wirkungen unterstützt, den Sand, den Kies und selbst mäfsige Steine in Bewegung, und treiben sie oft auf weite Entfernung fort. Sie bieten sonach ein Mittel, dieses Material an mehr geschützten Stellen aufzufangen und dadurch bedeutende Alluvionen zu schaffen. Andrerseits bildet dieser Strom, namentlich in engeren Canälen und in den Mündungen der Meerbusen und Flüsse, tiefe Fahrwasser, die eben sowol bei der Fluth, wie bei der Ebbe gespült werden, und sich mehr oder weniger von selbst offen erhalten. Endlich kann man auch, wenn man in geräumigen Bassins das Hochwasser auffängt, und es zur Zeit des niedrigen Wassers abfliefsen läfst, sehr kräftige Strömungen künstlich erzeugen, die zum Spülen der Hafenmündungen mit Vortheil benutzt werden. Dafs

diese grofsartige, für den Hafen- und Uferbau so wichtige Erscheinung der Fluth und Ebbe sich in regelmäfsigen Perioden wiederholt, die von der Witterung im Allgemeinen ganz unabhängig sind, war schon im frühesten Alterthume bekannt, auch bemerkte man schon damals die Beziehung zwischen dieser Erscheinung und dem Stande des Mondes und der Sonne gegen die Erde, doch blieb die Erklärung des Phänomens Newton vorbehalten. Der wahre Zusammenhang liefs sich nicht früher erkennen, als bis man eingesehn hatte, dafs keine andre Kraft, als die Schwere, die Erde und den Mond in ihren Bahnen erhält.

Die Periode, in welcher das Steigen und Fallen des Wassers erfolgt, ist nicht genau ein halber Tag, sondern umfafst einen etwas längeren Zeitraum. Der Eintritt der dritten Fluth verzögert sich ungefähr um 50 Minuten, oder erfolgt um soviel später am nächsten Tage. In 28 bis 29 Tagen trifft sonach das Hochwasser wieder in dieselbe Tages-Stunde. Dieses ist keine andre Periode, als die der Bewegung des Mondes um die Erde. Dabei giebt sich noch eine zweite sehr auffallende Beziehung der Fluth zum Monde zu erkennen, nämlich wenige Tage nach den Voll- und Neumonden ist der Wasserwechsel am gröfsten, nach dem ersten und letzten Viertel dagegen am kleinsten. Hieraus ergiebt sich schon, dafs auch die Sonne auf diese Erscheinung Einfluſs haben mufs. Die sorgfältigen Beobachtungen, die man in neuerer Zeit an vielen Orten regelmäfsig anstellt, zeigen diesen Einfluſs noch unverkennbarer. Der Wasserwechsel ist nämlich, abgesehn von der gegenseitigen Stellung der Sonne und des Mondes, um so gröfser, je näher diese beiden Himmelskörper, oder einer derselben der Erde ist, und je geringer ihre Declinationen sind. Die stärksten Fluthen treten daher in den Voll- und Neu-Monden zur Zeit der Aequinoctien ein.

Bevor die Erklärung der Erscheinung gegeben wird, ist es nöthig, einige allgemein eingeführte Benennungen festzustellen. Das Steigen des Wassers nennt man die Fluth, das Fallen dagegen die Ebbe. Zwischen beiden tritt eine Periode des Stillstandes ein, die an manchen Orten länger, an andern kürzer ist, oft nur wenige Minuten beträgt, unter besondern localen Verhältnissen sich aber auf mehrere Stunden ausdehnt. Diese Periode ist entweder Hochwasser oder Niedrigwasser. Den Höhenunterschied zwischen diesen beiden Wasserständen nennt man zuweilen die Fluthhöhe.

Dieser Ausdruck veranlafst aber leicht Mifsverständnisse, indem er auch zugleich diejenige Höhe am Pegel bezeichnet, welche die Fluth erreicht. Passender ist daher die Benennung Fluthwechsel, die gleichfalls bereits eingeführt ist.

Gemeinhin findet während der Fluth die Strömung in anderer und meist in entgegengesetzter Richtung statt, als während der Ebbe, und man pflegt zuweilen unter Fluth und Ebbe auch die Richtung des Stromes zu verstehn. Das Aufhören der Strömung, oder das Umsetzen oder Kentern des Stromes ist alsdann die Grenze zwischen beiden Erscheinungen. An offenen Meeresküsten erfolgt dieses gewöhnlich zur Zeit des höchsten und des niedrigsten Wassers, in welchem Falle jene Worte nach den beiden erwähnten Bedeutungen dieselbe Periode bezeichnen. In den Mündungen der Ströme verhält es sich aber anders. Der Ebbestrom ist nach der See gekehrt, der Fluthstrom entgegengesetzt, und insofern der Zufluſs aus dem obern Lande ununterbrochen fortdauert, so steigt das Wasser oft schon sehr merklich, während der Ebbestrom noch stattfindet. Es giebt sogar bei jedem Strome eine gewisse Strecke, oft von bedeutender Ausdehnung, in welcher man das Steigen und Fallen des Wassers sehr deutlich wahrnehmen kann, wo also nach der ersten Bedeutung der Worte, Fluth und Ebbe unverkennbar stattfindet, während nichts desto weniger ein aufwärts gekehrter Fluthstrom gar nicht eintritt. Nach der letzten Bedeutung der Worte würde man also in diesem Falle von Fluth und Ebbe nicht sprechen können.

Die Fluthen in den Voll- und Neumonden, oder in den Syzygien, die besonders stark sind, nennt man Springfluthen, dagegen diejenigen in dem ersten und letzten Mondviertel, oder in den Quadraturen todte Fluthen. Der Ausdruck Aequinoctial-Fluthen bedarf keiner Erklärung.

Die Stunde, in welcher am Tage des Vollmondes oder Neumondes das Hochwasser in einen Hafen eintritt, nennt man die Hafenzeit (Etablissement). Die Kenntnifs derselben ist für den Schiffer, der den Hafen ansegeln will, von grofser Wichtigkeit. Indem er aber für jeden folgenden Tag 50 Minuten hinzusetzt, so kann er leicht jedesmal die Zeit des Hochwassers berechnen, sobald er die Hafenzeit kennt. Die nautischen Jahrbücher enthalten die Hafenzeiten von allen besuchten Seehäfen an grofsen Meeren.

Vergleicht man die Hafenzeiten benachbarter Häfen mit einander, so findet man, dafs sie unter sich nahe übereinstimmen, und hieraus ergiebt sich, dafs die Fluthen von grofsen Wasserwellen herrühren, welche bedeutende Theile der Erdoberfläche umfassen. Das Fortschreiten dieser Wellen ist aus den Hafenzeiten leicht zu erkennen, aber es zeigt so grofse Unregelmäfsigkeiten und ist so sehr durch die Gestaltung der Küsten bedingt, dafs man aus einzelnen Beobachtungen die Erscheinung weder im Ganzen auffassen, noch auch erklären konnte. Die Welle läuft eben sowol nach Westen, wie nach Osten, und wenn sie an der Europäischen Küste des Atlantischen Oceans auch vorzugsweise nach Norden gekehrt ist, so bewegt sie sich an einzelnen Stellen auch wieder südwärts.

Nachdem in neuerer Zeit eine frequente Schiffahrt sich über alle Meere ausgedehnt hat, soweit sie irgend ein merkantilisches Interesse bieten, und man die Hafenzeiten aller Küsten wenigstens annähernd kennt, so ergaben die Zusammenstellungen derselben, wovon später die Rede sein wird, dafs die eigentliche Quelle der Fluth und Ebbe nur in der südlichen Hemisphäre jenseits der Vorgebirge, welche Afrika und Amerika im Süden abschneiden, zu suchen ist. Dort bewegen sich gleichzeitig zwei mächtige Fluthwellen mit einer Geschwindigkeit, die nahe der Umdrehungs-Geschwindigkeit der Erde gleichkommt, und die in der Periode eines Mondes-Tages ihre Revolutionen vollenden. Die Fluthen in der Nordsee und selbst im Atlantischen Ocean sind nicht ursprüngliche Erscheinungen, sondern nur Fortsetzungen jener Wellen-Erhebungen, die im südlichen Weltmeere erfolgen. Die grofse Ausdehnung des letzteren und vor Allem die Abwesenheit zusammenhängender Landmassen, welche die Wellen unterbrechen würden, macht es schon an sich wahrscheinlich, dafs die Fluthwelle sich dort am vollständigsten ausbildet. Die Kräfte, durch welche sie erregt wird, dürfen daselbst nur die bereits angeregte Bewegung erhalten und den Verlust an lebendiger Kraft ersetzen, den die Reibung und die weitere Mittheilung der Bewegung veranlafst. Die Welle selbst bleibt aber und bedarf nicht einer stets erneuten Erregung, wie solche nöthig wäre, wenn in gleicher Weise, wie im Atlantischen Ocean, ein zusammenhängendes Ufer ihr weiteres Fortschreiten unmöglich machte.

Diese Kräfte sind nach der zuerst von Newton gegebenen Er-

klärung nichts anderes, als die Schwere oder die allen materiellen Stoffen gemeinsame gegenseitige Anziehung.

Fig. 15 stelle in *S* den Mittelpunkt der Sonne, in *C* den der Erde dar. Indem letztere sich um die erstere bewegt, so würde die Erde der Richtung des Weges folgen, den sie momentan durchläuft, wenn keine andere Kraft auf sie einwirkte, und sie würde die Tangente nicht verlassen und geradlinig das Universum durchschneiden. Es besteht aber gegenseitige Anziehung zwischen Sonne und Erde, die letztere fällt also fortwährend der ersteren zu, so wie umgekehrt, jedoch wegen der viel gröfsern Masse in weit geringerem Grade, auch die Sonne gegen die Erde, und beide beschreiben gewisse geschlossene Bahnen. Die verschiedenen Massentheilchen des Erdballs werden aber nicht in gleicher Weise von der Sonne angezogen, denn die Stärke der Anziehungskraft ist von der Entfernung der beiden sich anziehenden Körper abhängig, und zwar ist diese Kraft umgekehrt dem Quadrate des Abstandes proportional. Sonach erleidet derjenige Theil der Erdoberfläche, welcher der Sonne zugekehrt ist, eine stärkere Anziehung, als der Mittelpunkt der Erde, und dieser eine stärkere, als der der Sonne abgekehrte Theil.

Wäre die Erde ein fester Körper, der keine Formveränderung zuliefse, oder der wenigstens bei geringen Differenzen der Anziehung eine verschiedenartige Bewegung der einzelnen Theilchen durch ihre gegenseitige Cohäsion oder auch durch Reibung verhinderte, so würde die Erde mit der Geschwindigkeit, welche dem Abstande des Schwerpunktes entspricht, in ihrer ganzen Masse, ohne dafs die Theilchen besondere Bewegungen annehmen, nach der Sonne sich bewegen. Die Erde ist indessen grofsentheils mit Wasser bedeckt, dessen leichte Beweglichkeit ihm gestattet, seine Form zu verändern. Obwohl es sich von der Erde nicht trennt, kann es dennoch schneller oder langsamer nach der Sonne fallen, als der feste Theil des Erdkörpers. Auf diese Weise erhebt sich die Wasserfläche im Punkte *A*, indem sie stärker, als der Schwerpunkt der Erde angezogen wird, und sie erhebt sich eben so auch im Punkte *B*, weil sie hier die geringste Anziehung erfährt. So bilden sich an entgegengesetzten Theilen des Erdballes zwei Anschwellungen, oder es stellt sich hier gleichzeitig Hochwasser ein, während in den Punkten *D* und *F* nicht nur keine Erhebung erfolgen kann, sondern sogar eine Senkung ein-

treten mufs, die jenen Anschwellungen entspricht. Die Drehung der Erde um ihre Achse veranlafst aber, dafs die Anschwellungen fortwährend weiter rücken. Beide Wellen laufen daher nahe mit der Geschwindigkeit der Umdrehung der Erde in einer Richtung, die dieser entgegengesetzt ist, oder sie bewegen sich in derselben Richtung, in welcher die Sonne scheinbar die Erde umkreist.

Die Fluth, welche der Mond veranlafst, ist wie bereits erwähnt gröfser, als die der Sonne, woher nicht der gewöhnliche, sondern der Mondes-Tag die Fluth bedingt. Die Einwirkung des Mondes ist aber der so eben beschriebenen vollkommen gleich, und die Sonne wurde nur deshalb bei dieser Erklärung zuerst erwähnt, weil das Verhältnifs in sofern etwas einfacher ist, als mit Rücksicht auf die beiderseitigen Massen das Fallen der Erde sich klarer darstellt, und die entsprechende Bewegung der Sonne nicht weiter beachtet werden durfte.

Der Mond bewegt sich zwar um die Erde, aber abgesehn von der Bewegung der letztern um die Sonne ist auch die Erde in dem Weltraume keineswegs in irgend einer Art befestigt. Die Anziehung zwischen ihr und dem Monde wirkt daher gleichfalls gegenseitig, und beide bewegen sich nach Maafsgabe ihrer Massen fortwährend gegen einander. Wegen der veränderten Stellung des Mondes verändert sich auch stets die Richtung dieser Bewegung der Erde, und wenn der Mond scheinbar wieder an denselben Punkt zurückgekommen ist; so hat auch die Erde den entsprechenden Kreis beschrieben, dessen Ausdehnung mit Rücksicht auf die geringe Masse des Mondes nicht bedeutend ist. Nichts desto weniger ergiebt sich hieraus, dafs die Erde fortwährend vom Monde angezogen wird, und dieser Anziehung auch folgt. Das Massentheilchen *B* wird aber vom Monde *M* stärker angezogen, als der Mittelpunkt *C*, und das Theilchen *A* schwächer; jenes eilt also der Erde vor, und dieses bleibt hinter ihr zurück. Der Mond verursacht daher eben so, wie die Sonne, zwei gegenüberstehende Fluthwellen, die bei der Drehung der Erde um ihre Achse wieder übereinstimmend mit der scheinbaren Bewegung der Gestirne von Osten nach Westen laufen.

Hat der Mond die in der Figur angedeutete Stellung, oder steht er der Sonne gegenüber, wobei Vollmond statt findet, so vereinigt sich die Fluthwelle, die vom Monde herrührt, mit derjenigen, welche die

Sonne verursacht. Die Fluth setzt sich also aus beiden zusammen, und wird dadurch höher, als jede einzeln ist. Dasselbe ist auch der Fall zur Zeit des Neumondes, oder wenn der Mond in der Verbindungslinie, die von der Erde nach der Sonne gezogen wird, zwischen beiden sich befindet.

Zur Zeit des ersten oder letzten Viertels steht der Mond dagegen, von der Erde gesehn, um einen Quadranten von der Sonne entfernt, also in M'. Er bildet alsdann in den Punkten F und D Hochwasser, während die Fluthwellen, die von der Sonne herrühren, ihre Scheitelpunkte in A und B haben, und in D und F Niedrigwasser darstellen. Der Wasserwechsel in den ersten und letzten Vierteln ist also nur die Differenz zwischen der Fluthhöhe des Mondes und der der Sonne. Er würde in diesem Falle ganz verschwinden, wenn beide gleich grofs wären.

Es könnte noch zweifelhaft sein, ob durch die Bewegung der Erde sowol in der Richtung nach der Sonne, als nach dem Monde, die Ausbildung der beiden entsprechenden Fluthwellen nicht gehindert wird, dieses ist indessen keineswegs der Fall. Wie die Stellung des Mondes gegen die Sonne auch immer sein mag, so wird der Mond sehr nahe in derselben Weise, wie die Erde, von der Sonne angezogen; beide sind daher einer gleichen Wirkung unterworfen, oder diese stört nicht ihr gegenseitiges Verhalten, also auch nicht die Ausbildung der vom Monde herrührenden Fluthwellen. Andrerseits verhindert die Sonne wieder nicht die von ihr ganz unabhängige Bewegung der Erde gegen den Mond, also auch nicht die Fluthen, welche der letztere erzeugt.

Eine einfache Betrachtung ergiebt, dafs die von dem Monde herrührende Fluth bedeutend stärker sein mufs, als diejenige, welche die Sonne verursacht, auch läfst sich leicht das Verhältnifs beider feststellen. Man darf annehmen, dafs die Stärke der Fluth, oder die Höhe, zu der das Wasser ansteigt, der flutherzeugenden Kraft proportional ist. Letztere ist aber nichts andres, als die Differenz der Attractionen, welche der Erdkörper als zusammenhängende Masse, und die nächsten oder entferntesten Theilchen desselben erfahren. Die Attraction, welche irgend ein Körper, also auch die Sonne oder der Mond gegen ein bestimmtes Theilchen des Erdkörpers ausübt, ist proportional der Masse des anziehenden Körpers und umgekehrt proportional dem Quadrate seines Abstandes

von demselben. Wenn sonach diese Masse durch P und der Abstand durch a bezeichnet wird; so ist die Attraction

$$= m \frac{P}{a^2}$$

wobei m eine Constante bedeutet.

Nennt man nun a den Abstand des Mittelpunktes der Erde von dem anziehenden Körper und r den Halbmesser der Erde; so bezeichnet jener Ausdruck nichts andres, als die Kraft, womit die ganze Erde als fester Körper afficirt wird, oder diejenige Schwerkraft, welche die Geschwindigkeit ihres Fallens nach dem fremden Himmelskörper bedingt. Der Theil der Erdoberfläche, welcher diesem Körper zugekehrt ist, erfährt eine Anziehung

$$= m \frac{P}{(a-r)^2}$$

und der gegenüber befindliche, oder vom anziehenden Körper abgekehrte Theil der Oberfläche

$$= m \frac{P}{(a+r)^2}$$

Die Kraft, welche die Fluthen erzeugt, ist für den ersteren

$$= mP\left(\frac{1}{(a-r)^2} - \frac{1}{a^2}\right)$$

und für den letzteren

$$= mP\left(\frac{1}{a^2} - \frac{1}{(a+r)^2}\right)$$

Indem r sehr klein gegen a ist, so sind beide Ausdrücke einander gleich, und verwandeln sich in

$$= mP \cdot \frac{2r}{a^3}$$

Die flutherzeugende Kraft verhält sich also zu der Anziehungskraft, die der Mittelpunkt der Erde erfährt, wie

$$\frac{2r}{a^3} : \frac{1}{a^2} \text{ oder wie } 2r : a$$

also wie der Durchmesser der Erde zum Abstande des anziehenden Himmelskörpers. Diese Kraft ist daher jedenfalls nur sehr klein vergleichungsweise gegen die Anziehung des letztern.

Setzt man die Masse der Erde und ihren Halbmesser gleich Eins, oder mifst man in diesen Einheiten die Gröfsen P und a, so stellen sich die sämmtlichen einwirkenden Kräfte in einfachen Be-

ziehungen zu der Schwere auf der Erdoberfläche dar. Wenn der Weg, den ein auf der letztern frei herabfallender Körper in der ersten Secunde durchläuft, mit g bezeichnet wird, so ist die Anziehungskraft der Erde nach der ersten Gleichung

$$m \frac{P}{a^2} = g$$

und da in diesem Falle sowol P, als a gleich Eins sind, so folgt

$$m = g = 15{,}63 \text{ Fufs.}$$

Nach denselben Maafs- und Gewichts-Einheiten, oder vergleichungsweise zu der Masse und dem Halbmesser der Erde ist*)

für die Sonne $P = 354940$
und $a = 24054$
für den Mond $P = 0{,}0108$
und $a = 60{,}3$

Die flutherzeugende Kraft der Sonne gegen die ihr zu- oder abgekehrte Seite der Erde ist daher

$$mP\frac{2r}{a^3} = \frac{2gP}{a^3}$$
$$= 0{,}00000005101 \,.\, g$$
$$= 0{,}0001146 \text{ Linien,}$$

die flutherregende Kraft des Mondes dagegen

$$= 0{,}00000009852 \,.\, g$$
$$= 0{,}0002213 \text{ Linien.}$$

Hieraus ergiebt sich, dafs die Kraft des Mondes und sonach auch die Höhe des von ihm herrührenden Fluthwechsels zu derjenigen der Sonne ungefähr, wie 2 : 1 sich verhält. Wenn die erste also beispielsweise 10 Fufs beträgt, so wird die letzte nur 5 Fufs sein, und der Wasserwechsel zur Zeit der Springfluthen wird $10 + 5 = 15$ Fufs, zur Zeit der todten Fluthen dagegen nur $10 - 5 = 5$ Fufs messen.**) Dieses Verhältnifs zwischen den Springfluthen und todten Fluthen tritt zuweilen und namentlich an der Küste des Oceans wirklich ein, wie sich aus den Fig. 16 graphisch dargestellten Cher-

*) Hansen, allgemeine Uebersicht des Sonnen-Systems in Schumacher's Jahrbuche für 1837.

**) Ein sehr interessanter Vortrag über Fluth und Ebbe von Bessel ist sowol in Schumacher's Jahrbuch für 1838, als auch in Bessel's „populären Vorlesungen über wissenschaftliche Gegenstände, Hamburg 1848" abgedruckt.

bourger Beobachtungen vom 12. März bis 16. April 1831 ergiebt. An der Nordsee ist der Unterschied zwischen beiden viel geringer.

Dafs der Mond in allen Fällen von überwiegendem Einflusse ist, ergiebt sich vorzugsweise daraus, dafs das Hochwasser an jedem Orte in einer beinahe constanten Stundenzahl nach der Culmination des Mondes eintritt. Die Sonne hat darauf zwar auch einigen Einflufs, doch beschränkt derselbe sich im Maximum auf 44 Minuten. Das Hochwasser geht nämlich mit Rücksicht auf die Hafenzeit des Ortes der Culmination des Mondes voran oder folgt ihr um soviel Minuten, als die zweite Spalte der nachstehenden Tabelle angiebt, wenn die Sonne um die Stundenzahl der ersten Spalte vor oder nach dem Monde culminirt.

Bei	0	Stunden	ändert	sich	die	Hafenzeit	0	Minuten
-	1	-	-	-	-	-	16	-
-	2	-	-	-	-	-	31	-
-	3	-	-	-	-	-	41	-
-	4	-	-	-	-	-	44	-
-	5	-	-	-	-	-	31	-
-	6	-	-	-	-	-	0	-

Es ist in hohem Grade überraschend, dafs die mächtigen Fluthwellen durch solche überaus geringfügige und in allen übrigen Erscheinungen gar nicht wahrnehmbare Kräfte veranlafst werden. Diese Kräfte bewegen nämlich einen ihrer Einwirkung freigestellten Körper, je nachdem sie von der Sonne, oder vom Monde ausgehn, in einer Secunde nur durch den 9000ten oder 4500ten Theil einer Linie. Sie sind in der That bei allen Erscheinungen auf der Erdoberfläche wirksam, oder wirken der Kraft der Schwere periodisch entgegen, doch wird letztere nur etwa um den millionsten Theil dadurch vermindert. Hieraus erklärt es sich, dafs man diese periodischen Aenderungen sonst gar nicht bemerkt. Die genausten Bestimmungen des Maafses der Schwere oder des Werthes von g ergeben sich aus der Länge des Secunden-Pendels, aber die Genauigkeit, die man hierbei erreichen kann, entspricht noch nicht der Gröfse eines so kleinen Bruches. Auch die aus dieser Veränderung der Schwere entspringende periodische Beschleunigung und Verzögerung des Ganges unserer Uhren, die man aus den astronomischen Beobachtungen am ersten erkennen müfste, entzieht sich

wegen ihrer Geringfügigkeit noch vollständig unsrer Wahrnehmung. Die Uhren in den Sternwarten folgen, soweit die Schärfe der Beobachtung reicht, ganz genau den scheinbaren Bewegungen der Gestirne, also der Umdrehung der Erde. Es läfst sich auch leicht übersehn, dafs die Abweichungen in Folge dieser Veränderung der Schwere noch kleiner sind, als die Zeit- oder Raum-Unterschiede, die wir mit unsern Sinnen wahrnehmen können.

Der Fluthwechsel beträgt, wie bereits erwähnt, an den Europäischen Küsten des Atlantischen Oceans durchschnittlich etwa 12 Fufs, stellenweise und namentlich in weiten und regelmäfsig geformten Buchten und Strommündungen wird er viel gröfser. Wenn man hiervon absieht und annimmt, wie die Beobachtungen an isolirten Inseln vermuthen lassen, dafs der Unterschied zwischen dem hohen und niedrigen Wasser im offenen Meere und zwar unter dem Aequator nur 3 Fufs beträgt, und setzt man voraus, dafs dieser Unterschied mit den geographischen Breiten sich vermindert und unter den Polen ganz verschwindet, so überzeugt man sich leicht, dafs bei jedem Fluthwechsel, also in $6\frac{1}{2}$ Stunden, 200 Cubikmeilen Wasser aus einem Erdquadrant in den andern übertreten. Diese Wassermasse nimmt aber keineswegs die Geschwindigkeit der Fluthwelle an, indem sie derselben folgt, die Bewegung geschieht vielmehr in gleicher Weise, wie in den gewöhnlichen Wellen bei grofser Tiefe. Die einzelnen neben einander stehenden Wasserfäden schwingen rechts und links, indem sie zugleich abwechselnd sich verlängern und verkürzen. Die Periode ihrer Schwingung ist freilich übermäfsig ausgedehnt, daher die Bewegung im offenen Meere unmerklich klein; aber jeder Wasserfaden kehrt nach 12 Stunden wieder in seine ursprüngliche Stellung zurück, ohne dieselbe dauernd zu verlassen.

Alle Versuche, die man bisher gemacht hat, die Dimensionen der Erscheinung aus den allgemeinen Gesetzen der Mechanik und aus den astronomischen und geodätischen Messungs-Resultaten herzuleiten, haben noch keinen Erfolg gehabt. Eben so wenig, wie man im offenen Meere, also ganz unabhängig vom Einflusse der Küsten, die Höhe der Fluthwelle oder die Gröfse des Fluthwechsels messen kann, so ist die Bestimmung desselben auch durch Rechnung nicht geglückt, selbst wenn man die Erde als ein rings mit Wasser bedecktes Sphäroid ansieht.

Euler*) fafste die Aufgabe unter dem Gesichtspunkte auf, dafs die Erde vollständig von einer Wasserschicht umgeben ist, aber nicht rotirt, während sie von der Attraction des Mondes afficirt wird. Hieraus fand er für die dem Monde zugekehrte Seite eine Erhebung von 3 Fufs.

La Place's Untersuchungen**) über Fluth und Ebbe sind von viel gröfserer Bedeutung. Sie stellen den Zeitunterschied für den Eintritt des Hochwassers und für das Verhältnifs der Fluthhöhen bei Springfluthen und todten Fluthen, so wie deren Abhängigkeit von der Entfernung und der Declination des Mondes und der Sonne nicht nur mit der gröfsten Schärfe dar, sondern es schliefsen diese Resultate sich auch an die seit langer Zeit in Brest angestellten Beobachtungen so genau an, dafs ein berühmter Astronom***) die Pegelstationen an grofsen Meeren eine schätzbare Zugabe zu den Sternwarten nennt, welche gleich diesen zur Kenntnifs aller Erscheinungen am Himmel führen müssen, die von dem Verhältnifs der anziehenden Kräfte der Sonne und des Mondes abhängen.

Nichts desto weniger stellen diese Resultate nicht absolute Maafse, sondern nur Verhältnifszahlen und Zeitunterschiede dar, und zwei Constanten, nämlich die Höhe der Fluthwelle, oder der Fluthwechsel, und die Hafenzeit bei gewissem Stande der beiden anziehenden Himmelskörper müssen für jeden Ort durch unmittelbare und vielfach wiederholte Messung gefunden werden. In dieser Art sind auch die Fluthtabellen berechnet, die zur Sicherung des Schiffsverkehrs in England und Frankreich jährlich veröffentlicht werden. Die erwähnten beiden Constanten hängen augenscheinlich nur von localen Verhältnissen, das heifst von der Lage und Gestaltung der Küsten und von den Meerestiefen ab. Eben so, wie die gewöhnliche Meereswelle beim Auflaufen auf untiefe Stellen sich höher erhebt, als auf dem offenen Meere, auch sich zugleich in soforn wesentlich verändert, dafs die Wassermasse nicht nur hin und her schwankt, sondern in dem obern Theile die fortschreitende Bewegung der Welle annimmt, so findet dasselbe auch bei der Fluthwelle statt. Beim

*) In den neuen Commentarien der Petersburger Academie, übersetzt und zusammengestellt von Brandes, unter dem Titel: Gesetze des Gleichgewichts und der Bewegung flüssiger Körper. Leipzig 1806. Seite 90.

**) Traité de mécanique céleste. Vol. II. Liv. VI.

***) Bessel, Populäre Vorlesungen. Hamburg 1848. Seite 201.

Eintritt in Buchten, die sich regelmäfsig verengen, sowie auch vor manchen Küsten gewinnt sie eine viel gröfsere Höhe, und es erzeugen sich zugleich sehr heftige Strömungen, die noch dadurch verstärkt werden, dafs die dahinter liegenden Bassins bei der langen Periode der Fluthwelle sich jedesmal anfüllen und wieder entleeren.

Die Bewegung der Fluthwellen läfst sich am sichersten erkennen, wenn man die Hafenzeiten verschiedener Orte mit einander vergleicht. W. Whewell unternahm es zuerst, die Nachrichten, welche in einzelnen Schriften und namentlich in Berichten über Seereisen enthalten sind, möglichst vollständig zu sammeln, und nachdem alle Angaben auf Greenwicher Zeit reducirt waren, dieselben in Charten zusammenzustellen.*) Indem diejenigen Punkte, welche gleiche Hafenzeit haben, durch Linien mit einander verbunden werden, so zeigen diese Charten, wie der Kamm der Fluthwelle von Stunde zu Stunde fortschreitet. Indem man aber die Beobachtungen nur an den Küsten, nicht aber im offenen Meere anstellen kann, so sind die Linien oft nur durch einzelne Punkte gegeben, ihre Richtung bleibt also unbekannt. Nichts desto weniger läfst sich dennoch auch diese aus den Abständen der Punkte, wo die Hafenzeiten um eine Stunde verschieden sind, annähernd beurtheilen, und häufig geben auch Inseln, die in weiter Entfernung von der Küste liegen, einen sehr sichern Anhalt.

Diese Zusammenstellung zeigt nun sehr deutlich, dafs die Fluthwelle im Süden der grofsen Continente sich bildet, und von hier sowol in den Stillen, als in den Atlantischen Ocean eintritt, und in beiden sich im Allgemeinen nordwärts bewegt. Aber auch jenseits des Vorgebirges der guten Hoffnung und des Cap Horn zeigen sich schon sehr auffallende Anomalien, die wahrscheinlich von unbekannten grofsen Inseln oder Continenten herrühren, welche die freie Bewegung des Wassers auch hier hindern. An der östlichen Küste von Afrika tritt die Fluthwelle beinahe in der Länge von vierzig Breitengraden gleichzeitig ein, während sie im Atlantischen Ocean schon 5 Stunden braucht, um vom Vorgebirge der guten Hoffnung bis zur Küste von Guinea zu gelangen. Bei Neuholland wie-

*) Essai towards a first approximation to a map of Cotidal Lines. In den Philosophical Transactions. 1833. Part I.

derholt sich dieselbe Unregelmäfsigkeit und zum Theil auch bei Amerika. Die ganze Küste von Florida bis Neu-Schottland wird gleichzeitig von der Fluthwelle erreicht.

Es ergiebt sich ferner aus diesen Charten, dafs die Fluthwelle über 24 Stunden braucht, um von dem Vorgebirge der guten Hoffnung bis an die Küste von Frankreich zu gelangen, und es dauert aufserdem noch einen Tag, bis sie zwischen Island und Schottland nach der Nordsee kommt und die Mündung der Themse erreicht. Hieraus erklärt es sich, dafs die gröfsten und kleinsten Fluthwechsel oder die Springfluthen und todten Fluthen an den Europäischen Küsten nicht zur Zeit der Mondphasen, sondern $1\frac{1}{2}$ bis 2 Tage später eintreten.

Ob diese secundären Fluthwellen, welche oft ihre Richtung verändern, und zuweilen sogar, wie im Norden von Schottland und im Canale zwischen Frankreich und England, von Westen nach Osten laufen, durch die Anziehung des Mondes und der Sonne theilweise geschwächt und verstärkt werden, ist unbekannt. Eine besondere Erwähnung verdient aber der Fall, wenn die Fluth eine Insel trifft, und an deren beiderseitigen Ufern die Welle sich fortsetzt. Diese getrennten Wellen vereinigen sich wieder an einer bestimmten Stelle, und bei besonderer Gestaltung der Ufer erhebt sich hier die Fluth zu einer ungewöhnlichen Höhe. Dieses geschieht z. B. zwischen der Insel Long-Island und dem Staate Connecticut in einer besonders engen Stelle ohnfern des Hudson. Der Fluthwechsel an der südlichen Küste von Long-Island beträgt bei Springfluthen nur 5 bis 6 Fufs, an der erwähnten Stelle aber bis 20 Fufs, indem die beiderseitigen Fluthwellen hier (bei Hellengate) zusammentreffen und gegen einander stofsen. Die Industrie hat von diesem zufälligen Umstande auch Vortheil gezogen und Trocken-Docks daselbst angelegt, welche die gröfsten Schiffe aufnehmen und durch den natürlichen Abflufs bei Niedrigwasser wieder trocken gelegt werden.

Dagegen kann es auch geschehn, dafs eine der beiden Wellen viel früher an den Vereinigungspunkt gelangt, als die andre, und dafs vielleicht sogar auf dem einen Wege Hochwasser und auf dem andern Niedrigwasser gleichzeitig eintritt. Alsdann wird der Fluthwechsel auf die Differenz beider reducirt, und verschwindet beinahe ganz. Dieses geschieht an der Holländischen Küste. Die Fluth-

welle dringt in die Nordsee eben sowol durch den Canal, wie auf der Nordseite von Schottland. Wenn die Fluthwelle aber auf dem letzten Wege schon bis Peterhead, auf der östlichen Küste von Schottland angelangt ist, so hat sie im Süden von England nur so eben Calais und Dover erreicht. Diese letzte Welle setzt in der angenommenen Richtung ihre Bewegung längs der Belgischen und Niederländischen Küste fort. An der weit vortretenden Ecke von Nordholland trifft die von Norden herabkommende Fluth ungefähr um 6 Stunden früher ein, als diejenige, welche den Canal durchlaufen ist. Beide heben sich sonach beinahe vollständig auf. Der mittlere Fluthwechsel an der ganzen südlichen Küste der Nordsee beträgt ungefähr 12 Fufs, am Marsdiep und im Hafen Nieuwen-Diep dagegen nur 1,13 Meter, also 3,6 Fufs.

Es leuchtet an sich ein, dafs an solchen Küsten, welche von zwei verschiedenen Fluthwellen in verschiedener Zeit getroffen werden, ungewöhnlich hohe Fluthen viel leichter eintreten können, als an grofsen Meeren. Wenn starke Winde eine oder die andere Fluthwelle beschleunigen oder zurückhalten, so kann leicht das gleichzeitige Eintreffen beider ihre gewöhnliche Höhe verdoppeln. Dieser Fall ereignet sich bei anhaltenden westlichen Stürmen an der ganzen Deutschen Küste der Nordsee, und der Grund hiervon ist ohne Zweifel, dafs alsdann die durch den Canal dringende Welle beschleunigt und verstärkt wird. Man nennt diese Fluthen Sturmfluthen und sie erheben sich bis 12 Fufs über die gewöhnliche Höhe. An der Englischen und Französischen Küste sind sie meist ganz unbekannt, denn wenn Stürme auch hier einige Anschwellung veranlassen, so ist dieselbe doch niemals so bedeutend, dafs sie gegen die Differenzen zwischen Springfluthen und todten Fluthen in Betracht käme. Diese letzten Differenzen sind aber an der Deutschen Nordseeküste ziemlich unbedeutend. Nach den an der Jade im Jahre 1855 angestellten Beobachtungen mifst der Fluthwechsel durchschnittlich

in den Springfluthen 13 Fufs 2,8 Zoll
und in den todten Fluthen 11 Fufs 1,7 Zoll.

Die Höhen stehn daher im Verhältnisse, wie 19 zu 16, und in ähnlicher Weise verhält es sich an der Mündung der Weser und Elbe, während in den Französischen und Englischen Häfen das Verhält-

nifs durchschnittlich wie 2 : 1 sich herausstellt und an manchen Stellen, wie bereits erwähnt, 3 : 1 ist.

In nahem Zusammenhange hiermit steht auch die lange Dauer des Hochwassers in einzelnen Häfen. Gemeinhin kann man nämlich, wenigstens am offenen Meere, wenige Minuten nachdem das Steigen aufgehört hat, schon das Fallen des Wassers bemerken. In den Flufsmündungen verlängert sich aber die Dauer des Hochwassers sehr bedeutend, so z. B. an der Mündung der Orne auf $1\frac{1}{4}$ Stunden und nahe eben so grofs ist sie auch im Hâvre. Für die Schiffahrt ist dieser Umstand sehr vortheilhaft, weil alsdann das Aus- und Eingehn der Schiffe mit gröfserer Bequemlichkeit erfolgen kann.

Sehr wichtig ist die Frage, in welchem Maafse das Wasser von Stunde zu Stunde während einer vollen Fluthperiode steigt und fällt, oder welches die Curve der Fluthwelle ist, während letztere an einem Beobachtungsorte vorübergeht. Aus der obigen Entwickelung der flutherzeugenden Kraft des Mondes oder der Sonne läfst sich diese Curve leicht herleiten, wenn man wieder die an sich begründete Voraussetzung macht, dafs die Erhebung des Wassers jener Kraft proportional ist.

Diese Kraft war gleich $mP\frac{2r}{a^3}$, indem m eine Constante, P die Masse des anziehenden Himmelskörpers, a dessen centralen Abstand von der Erde und r den Halbmesser der letzteren bezeichnet. Der Einfachheit wegen nehme man an, der untersuchte Punkt A auf der Erdoberfläche befinde sich unter dem Aequator, und die durch den letzteren und durch den Mittelpunkt der Erde gelegte Ebene treffe in weiter Entfernung auch den anziehenden Himmelskörper M. Diese Voraussetzungen sind keineswegs ganz richtig, sie entfernen sich jedoch nicht weit von der Wahrheit und stellen insofern die wirklichen Verhältnisse annähernd dar, als die Fluthwelle in niedrigen Breiten sich erzeugt, und die Declinationen der anziehenden Himmelskörper bald nördlich und bald südlich sind. Der Punkt A durchläuft nach Fig. 17 den Weg $DAEGF$. In der Richtung CM befinde sich der betreffende Himmelskörper, und von der auf CM gezogenen senkrechten Linie CD ab messe man den Winkel φ, den der Punkt A durchlaufen hat. Der Abstand des letzteren von dem anziehenden Körper M ist alsdann bei der sehr grofsen Entfernung desselben um $r \sin \varphi$ kleiner, als der des Mittelpunktes der Erde. Dar-

aus ergiebt sich die flutherzeugende Kraft in der Richtung AM, die zu CM sehr nahe parallel ist, gleich

$$m P \frac{2 r \operatorname{Sin} \varphi}{a^3}$$

und wenn man diese Kraft auf den verlängerten Radius CA projicirt, so erhält man die Erhebung des Wasserstandes, die mit y bezeichnet wird,

$$y = 2 m \frac{Pr}{a^3} \operatorname{Sin} \varphi^2$$

$$= m \frac{Pr}{a^3} (1 - \operatorname{Cos} 2 \varphi)$$

Wenn sonach ein Kreis, dessen Durchmesser dem ganzen Fluthwechsel, oder dessen Radius dem halben Fluthwechsel zwischen Hoch- und Niedrigwasser gleich ist, auf einer geraden Linie gleichmäfsig rollt, und der von dem Niedrigwasser ab zurückgelegte Weg durch den entsprechenden Winkel oder durch 2φ bezeichnet wird, wie Fig. 18 zeigt, so ist an jeder Stelle, wo der Kreis sich befindet, die Fluthhöhe gleich dem Sinus versus dieses Winkels. Auf diese Art bildet sich das Profil der Fluthwelle über dem Halbkreise DEG (Fig. 17), dasselbe Profil stellt sich aber auch auf dem gegenüberstehenden Halbkreise GFD dar, welcher dem anziehenden Himmelskörper abgewendet ist.

Bei der Drehung der Erde bewegt sich der feste Punkt A vergleichungsweise gegen den Stand des anziehenden Himmelskörpers rings um den Kreis $DEGFD$, und indem diese Drehung erfolgt, so stellen sich in ihm zwei vollständige Fluthperioden ein. Das so eben hergeleitete Gesetz ist aber zugleich der Ausdruck für die Curve der Fluthwelle, wenn die Abscissen der Zeit proportional angenommen werden. Fig. 18 zeigt diese Curve.

Dieses Gesetz ist, soviel bekannt, zuerst von La Place*) ausgesprochen worden. Die Curve, welche es darstellt, ist nichts anderes, als die gewöhnliche Sinuslinie, wenn man die Abscissenlinie durch den Mittelpunkt des rollenden Kreises legt. Es mufs aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs die Maafsstäbe, welche man für die Abscissen und Ordinaten wählt, von einander ganz unabhängig sind, weil die erstern, Zeiten und die letztern, Längenmaafse darstellen.

*) Traité de mécanique céleste. Tome II, Livre IV. Chap. 3. Nr. 17.

Minard*) erwähnt, dafs die Beobachtungen auf freiliegenden Küstenpunkten diese Curve sehr nahe wiedergeben. Nach einigen von ihm mitgetheilten Profilen und namentlich nach dem bei Lorient gemessenen ist dieses allerdings der Fall. Eine noch gröfsere und gewifs überraschende Uebereinstimmung mit diesem Gesetz giebt sich dagegen in einer Beobachtungs-Reihe zu erkennen, die Brahms**) früher, als das Gesetz bekannt war, mitgetheilt hat. Der Beobachtungsort ist nicht näher angegeben, es wird nur gesagt, die Tabelle weise nach, wie die Fluth und Ebbe auf der Jade steige und falle. Wahrscheinlich sind die Messungen nahe an der Mündung der Jade, vielleicht in Hoch-Siel gemacht, denn weiter südlich bei Heppens üben die ausgedehnten Wattgründe in dem weiten Busen der Jade schon einen sehr störenden Einflufs aus, wie in Folgendem gezeigt werden wird.

Indem das Werk von Brahms bereits ziemlich selten geworden ist, so theile ich nachstehend diese Tabelle vollständig mit:

	Fluth.		Ebbe.	
	Zeit.	Wasserstand.	Zeit.	Wasserstand.
Niedrig-wasser	6 Uhr 45 Min.	0 Fufs 0 Zoll	1 Uhr 0 Min.	11 Fufs 11½ Zoll
	7 - 0 -	0 - 1½ -	1 - 15 -	11 - 9 -
	7 - 15 -	0 - 4 -	1 - 30 -	11 - 6¼ -
	7 - 30 -	0 - 7¼ -	1 - 45 -	11 - 2½ -
	7 - 45 -	0 - 11¾ -	2 - 0 -	10 - 9¾ -
	8 - 0 -	1 - 5¼ -	2 - 15 -	10 - 4 -
	8 - 15 -	1 - 11¾ -	2 - 30 -	9 - 10 -
	8 - 30 -	2 - 5¾ -	2 - 45 -	9 - 3½ -
	8 - 45 -	3 - 1¼ -	3 - 0 -	8 - 8½ -
	9 - 0 -	3 - 9¾ -	3 - 15 -	8 - 1 -
	9 - 15 -	4 - 6½ -	3 - 30 -	7 - 5 -
	9 - 30 -	5 - 3¼ -	3 - 45 -	6 - 8½ -
	9 - 45 -	6 - 1½ -	4 - 0 -	5 - 11¾ -
	10 - 0 -	6 - 11 -	4 - 15 -	5 - 2 -
	10 - 15 -	7 - 8 -	4 - 30 -	4 - 5 -
	10 - 30 -	8 - 4¼ -	4 - 45 -	3 - 8½ -
	10 - 45 -	9 - 0 -	5 - 0 -	2 - 11¾ -
	11 - 0 -	9 - 7 -	5 - 15 -	2 - 4¾ -
	11 - 15 -	10 - 1¼ -	5 - 30 -	1 - 10¼ -

*) Cours de construction des ouvrages hydrauliques des ports de mer. Paris 1846. pag. 8.

**) Anfangsgründe der Deich- und Wasserbaukunst von Albert Brahms. Aurich (ohne Jahreszahl) Seite 74. Der zweite Theil ist im Jahre 1757 erschienen.

	Fluth.		Ebbe.	
	Zeit.	Wasserstand.	Zeit.	Wasserstand.
	11 Uhr 30 Min.	10 Fufs 7 Zoll	5 Uhr 45 Min.	1 Fufs 4½ Zoll
	11 - 45 -	11 - ¼ -	6 - 0 -	1 - 0 -
	12 - 0 -	11 - 4½ -	6 - 15 -	0 - 8 -
	12 - 15 -	11 - 7¾ -	6 - 30 -	0 - 5 -
	12 - 30 -	11 - 10 -	6 - 45 -	0 - 3 -
	12 - 45 -	11 - 11¼ -	7 - 0 -	0 - 2½ -
Hochw.	12 - 50 -	11 - 11½ -	7 - 15 -	0 - 2½ -

Fig. 19 stellt diese Beobachtungsreihe graphisch dar. Man bemerkt, dafs das Niedrigwasser, mit dem die Beobachtungen beginnen, etwa um 2¼ Zoll tiefer herabgesunken war, als dasjenige mit dem sie schliefsen. Dieser Unterschied ist ungewöhnlich geringe, nichts desto weniger mufs man, wenn man einen sichern Vergleich anstellen will, hierauf Rücksicht nehmen und für den aufsteigenden und den abfallenden Schenkel zwei verschiedene Gröfsen des Fluthwechsels zum Grunde legen. Thut man dieses, so schliefst sich die Sinuslinie so genau an die Beobachtungen an, dafs die übrigbleibenden Fehler durchschnittlich noch nicht einen halben Zoll, und im Maximum nur 2 Zoll betragen. Diese Beobachtungsreihe liefert also eine sehr wichtige Bestätigung des oben entwickelten Gesetzes.

Einige Meilen weiter südlich, an der von Westen vortretenden Ecke, das Veer-Hoek genannt, ohnfern Heppens, wo sich der weit ausgedehnte Busen der Jade von dem engeren Halse scheidet, zeigt die Fluth-Scale niemals dieselbe Regelmäfsigkeit. In den Springfluthen wie in den todten Fluthen und überhaupt jedesmal, wenn nicht etwa sehr starke Winde eine Aenderung veranlassen, steigt das Wasser in den ersten vier Stunden viel schneller, als in den beiden letzten, und eben so fällt es auch im Anfange der Ebbe schneller, als am Ende derselben. Der Grund davon ist ohne Zweifel in den hohen Wattgründen des Jade-Busens zu suchen, welche in der ersten Hälfte der Fluth trocken bleiben, so dafs die eintretende Wassermasse anfangs nur die Rillen oder Baljen zu füllen braucht, während sie später sich über jene Gründe ergiefst und daher einen viel stärkeren Abflufs des steigenden Wassers veranlafst. Eben so strömt während der zweiten Hälfte der Ebbe noch dauernd das auf den Watten aufgefangene Wasser ab, und verzögert dadurch das Sinken des Wasserstandes am Pegel.

Die Dauer der Fluth und Ebbe sind auch auf dieser Station

sehr nahe gleich, denn durchschnittlich ist die Dauer der Fluth nur um 8½ Minuten länger, als die der Ebbe. Um die mittlere Form der Fluthwelle zu bestimmen, wählte ich unter den sehr zahlreichen Beobachtungsreihen 17 aus, die bei ruhiger Witterung angestellt und so weit ausgedehnt waren, dafs die Zeit und Höhe des Niedrigwassers sowol am Anfange, als am Ende der Beobachtungsreihe sich hinreichend sicher entnehmen liefs. Nachdem für jede dieser Reihen die einzelnen Ablesungen in Zwischenzeiten von 10 Minuten graphisch dargestellt und durch eine möglichst anschliefsende Curve mit einander verbunden waren, wurde die Niveau-Differenz zwischen dem Scheitel des Hochwassers und dem des vorhergehenden Niedrigwassers in 20 gleiche Theile getheilt. Die Zeichnung ergab alsdann die Zeit, in welcher jeder einzelne dieser Höhentheile erreicht war. In gleicher Art wurde hierauf auch der abfallende oder der Ebbe-Schenkel, und zwar vom Hochwasser bis zu dem darauf folgenden Niedrigwasser behandelt. Aus der Verbindung aller Reihen ergaben sich die Zeiten, in welchen vor und nach dem Hochwasser diese verschiedenen Höhen bei der Fluth und der Ebbe erreicht sind.*) Fig. 20 zeigt das Profil der Fluthwelle, wie es nach dieser Untersuchung im mittleren Werthe sich darstellt.

Das rasche Steigen der Fluth und langsame Fallen des Wassers bei der Ebbe tritt an Beobachtungsorten, welche vom offenen Meere noch weiter entfernt sind, und an grofsen Strömen liegen, viel auffallender hervor. Fig. 21 zeigt ein bei Hamburg gemessenes Fluthprofil. Der Ebbe-Schenkel desselben bildet hier gar keinen sanften Uebergang zu dem folgenden Fluthschenkel. Die Fluthwelle tritt vielmehr plötzlich auf und die Dauer des niedrigsten Wassers verschwindet daher vollständig. Auch hier bemerkt man, dafs die Fluth in den ersten Stunden viel schneller steigt, als in den letzten. Bei der Ebbe findet in geringerem Maafse dasselbe statt. Ehe die Fluth heraufkommt, senkt sich das Wasser anhaltend, doch erfolgt die Senkung in gleichen Zeiten immer langsamer, bis sie durch die neue Welle plötzlich unterbrochen wird. Auch die Dauer des Steigens und Fallens ist sehr verschieden: die Fluth hält

*) Ueber Fluth- und Boden-Verhältnisse des Preufsischen Jade-Gebietes. Monatsberichte der Königl. Academie der Wissenschaften zu Berlin. 1856. Seite 339 ff.

nur $4\frac{3}{4}$ Stunden an, während die Ebbe sich auf $7\frac{1}{2}$ Stunden ausdehnt.

In Betreff der Fluthprofile müssen noch manche auffallende Anomalien erwähnt werden. Ueber den Einfluſs des Windes, der um so bedeutender wird, wenn die Fluth auf zwei verschiedenen Wegen ein Ufer trifft, ist bereits gesprochen worden, so auch von der längeren Dauer des höchsten Wasserstandes, die in manchen Häfen zum groſsen Vortheil des Schiffahrtsbetriebes eintritt. Besonders bemerkenswerth ist aber, daſs an einzelnen Orten in derselben Fluthperiode das Wasser abwechselnd steigt und fällt, also zwei Maxima und zwei Minima in einem Fluthprofile sich bilden. Namentlich geshieht dieses wieder, wenn durch eine davor liegende Insel die Welle getheilt wird und der eine Theil derselben den Beobachtungsort früher erreicht, als der andre. Vor der Mündung der Charente liegt die Insel Oleron, vor der sich ein ziemlich regelmäſsiges Fluthprofil zeigt. Durch dieselbe wird indessen der Strom gespalten, und indem ein Theil von diesem die Mündung der Charente früher erreicht, als der andre, so stellen sich in Rochefort zwei verschiedene Hochwasser ein. Dieses geschieht vorzugsweise in der Zeit des ersten und letzten Mondviertels. Während der ersten drei Stunden der Fluth steigt das Wasser regelmäſsig 4 bis 5 Fuſs, alsdann wird die Zunahme geringer, und nach 4 Stunden bildet sich der erste Hochwasser-Scheitel. Hierauf fällt das Wasser zwei Stunden lang sehr langsam, so daſs es sich im Ganzen etwa um 1 Fuſs senkt. Alsdann beginnt ein neues Steigen, das nach 2 Stunden den höchsten Scheitelpunkt bildet, der den ersten zuweilen um $2\frac{1}{2}$ Fuſs überragt. Bei der nunmehr eintretenden Ebbe sinkt das Wasser sehr schnell auf seinen tiefsten Stand herab. Dieselbe Erscheinung zeigt sich auch in andern Häfen und schon Smeaton bemerkte sie bei Christchurch auf der westlichen Seite der Insel Wight.

Die sehr vollständigen und genauen Fluthbeobachtungen, welche die Provinz Nordholland bei Nieuwen-Diep anstellen läſst, und von denen noch später die Rede sein wird, zeigen die merkwürdige Erscheinung, daſs das Hochwasser sich nahe eine Stunde lang in gleicher Höhe erhält, aber am Anfange oder am Schlusse dieser Periode noch plötzlich bedeutend anschwillt. Diese Anschwellungen sind aber in den auf einander folgenden Fluthen nicht übereinstimmend,

vielmehr liegt der steile Scheitel, den sie darstellen bei den Tagesfluthen auf der einen und bei den Nachtfluthen auf der andern Seite, und bei andern Positionen des Mondes wechseln beide Scheitel ihre Stellung. Es ergiebt sich also hieraus noch eine ganz besondere und eigenthümliche Einwirkung der Sonne, die man gemeinhin nicht bemerken kann.

Noch auffallender wird die Erscheinung an manchen Punkten der östlichen Küste von Asien und zwar in hohen Breiten, woselbst bei gewissen Monds-Positionen nur einmal am Tage die Fluth sich bemerklich macht. Auch bei Tahiti tritt die geringe Fluth nur Mittags ein, und ist vom Monde fast ganz unabhängig.

Was die Gröfse des Fluthwechsels oder die Niveau-Differenz zwischen Hochwasser und Niedrigwasser betrifft, so ist bereits erwähnt worden, dafs dieselbe nicht nur vom Stande und der Entfernung des Mondes und der Sonne von der Erde, sondern auch in hohem Grade von der Lage des Beobachtungsortes und der Gestaltung der Küste abhängt. Die Wirkung der astronomischen Verhältnisse läfst sich durch Rechnung bestimmen, die der localen aber nur durch directe Beobachtung. Wie es aber zur vollständigen Bestimmung der Zeit des Hochwassers für jeden Tag genügt, wenn man die Hafenzeit, also die Stunde dieses Eintritts bei Voll- und Neumonden kennt, indem sie für die übrigen Tage sich hieraus leicht herleiten läfst, eben so darf man im Allgemeinen auch nur den Fluthwechsel während der Springfluthen für jeden Hafen feststellen, und es läfst sich daraus wieder der Fluthwechsel und eben so auch die Höhe des Hochwassers und des Niedrigwassers an jedem beliebigen Tage und nach dem bekannten Fluthprofile sogar der Wasserstand in jeder beliebigen Stunde herleiten. In dieser Art sind nun in England, wie auch in Frankreich, durch vielfache Beobachtungen die Fluthwechsel zur Zeit der Springfluthen bestimmt worden, und das mittlere Niedrigwasser zur Zeit der Springfluthen ist in die Hafen- und Küstencharten eingetragen. Die darin eingeschriebenen Zahlen bezeichnen die Tiefen bei diesem Wasser, und eben so auch die Höhe, um welche Sand- und Kiesbänke und Felsen darüber hervorragen. Sobald der Schiffer weifs, wie hoch das Wasser über diesem Niedrigwasser steht, so kann er die Wassertiefen in den Fahrwassern berechnen, die er beim Durchfahren vorfindet. Hierzu setzen ihn die Fluthtabellen, die in London und Paris jährlich er-

scheinen,*) vollständig in den Stand. Für die Haupthäfen kann er die Zeiten und Höhen der beiden täglichen Hochwasser unmittelbar aus diesen Tabellen entnehmen, in dem Französischen Annuaire sind aufserdem auch die Zeiten und Höhen aller Niedrigwasser angegeben. Für die in der Nähe liegenden Häfen weist aber eine andre Tabelle nach, um wieviel Minuten vergleichungsweise gegen einen Haupthafen das Hochwasser früher oder später eintritt, auch ob es eine gröfsere oder geringere Höhe erreicht. Indem endlich noch andre Tabellen beigefügt sind, welche das Steigen und Fallen des Wassers von Stunde zu Stunde leicht ermitteln lassen, so kann der Schiffer jederzeit wissen, welche Tiefe das Fahrwasser hat, in welches er einsegeln will.

Ich füge für die Hauptpunkte der Englischen und Französischen Küste die erwähnten Höhen-Constanten, nämlich die Gröfse des Fluthwechsels bei gewöhnlichen Springfluthen, in Rheinländischem Fufsmaafse ausgedrückt, bei. Die Vergleichung derselben zeigt sehr deutlich, welchen wesentlichen Einfluſs die Gestaltung der Küsten hierauf ausübt.

England und Schottland.			Frankreich.		
Devonport . . .	14 Fufs	11 Zoll	Entrée de l'Adour	8 Fufs	11 Zoll
Portsmouth . .	12 -	2 -	Arcachon . . .	12 -	5 -
Dover	18 -	2 -	Cordouan . . .	15 -	0 -
Sheernees . . .	15 -	6 -	La Rochelle . .	17 -	0 -
London	18 -	11 -	St. Nazaire (Loire)	17 -	1 -
Harwich . . .	11 -	2 -	Le Croisic . .	15 -	11 -
Hull	20 -	3 -	Port-Louis . .	15 -	0 -
Sunderland . .	13 -	11 -	Lorient	14 -	3 -
North-Shields . .	12 -	11 -	Audierne . . .	12 -	9 -
Leith	15 -	10 -	Brest	20 -	5 -
Thurso	12 -	9 -	Ile Brèhat . . .	31 -	11 -
Greenock . . .	9 -	5 -	Saint-Malo . .	36 -	2 -
Liverpool . . .	25 -	3 -	Granville . . .	39 -	2 -
Holyhead . . .	15 -	6 -	Les Écrehoux .	32 -	8 -
Pembroke . . .	20 -	5 -	Cherbourg . . .	18 -	0 -

*) Tide tables for the English and Irish Ports und Annuaire des marées des Côtes de France.

England und Schottland.		
Weston-super-mare	36 Fufs	1 Zoll
Irland.		
Kingstown	10 Fufs	8 Zoll
Belfast	9 -	3 -
Londonderry	7 -	5 -
Sligo Bay	10 -	10 -
Galway	14 -	5 -
Queenstown(Cork)	11 -	4 -
Waterford	12 -	0 -

Frankreich.		
Barfleur	18 Fufs	0 Zoll
La Hougue	19 -	4 -
Port-en-Bessin	20 -	5 -
Entrée de l'Orne	23 -	5 -
Le Havre	22 -	9 -
Fécamp	24 -	7 -
Dieppe	28 -	0 -
Cayeux (Somme)	29 -	2 -
Boulogne	25 -	3 -
Calais	19 -	11 -
Dunkerque	17 -	1 -

Es ergiebt sich aus dieser Zusammenstellung, dafs der Fluthwechsel an der freien Küste des Atlantischen Oceans und eben so auch an der Nordsee, und zwar in den Springfluthen, nicht gröfser ist, als etwa 12 Fufs. Auch an der Deutschen Nordsee-Küste stellt er sich ungefähr eben so grofs heraus. Er wächst jedoch bedeutend an, sobald die Fluthwelle gegen eine ihr entgegenstehende Küste läuft. Dieses geschieht auf der Südseite der Bretagne und besonders im Westen der Halbinsel Cotantin, ohnfern Cherbourg. In gleichem Maafse und zum Theil noch höher schwillt die Welle an, wenn eine trichterförmig verengte Bucht sie aufnimmt. Hierdurch erklären sich die bekannten höchsten Fluthen bei Granville und in der Mündung des Severn. Sind die Buchten dagegen der Bewegung der Fluthwelle nicht zugekehrt, so vermindert sich der Fluthwechsel, wie bei Londonderry und Belfast. Der Canal zwischen England und Frankreich wirkt gleichfalls wie eine solche trichterförmig geöffnete Bucht. Bei Portsmouth mifst der Fluthwechsel nur 12 Fufs. Er vergröfsert sich aber bei Dover bis 18 Fufs. An der Französischen Küste ist er bei Cherbourg und Barfleur 18 Fufs. Er schwillt an der Mündung der Somme bis 29 Fufs an und vor Boulogne beträgt er noch 25 Fufs, während er bei Calais, das schon jenseits der engsten Stelle liegt, nur noch 20 Fufs mifst. In der geringen Entfernung bis Dunkerque nimmt er um 3 Fufs ab, und an der Belgischen Küste ermäfsigt er sich sehr schnell wieder auf 12 Fufs.

Weiterhin an den Ufern der Nordsee tritt die merkwürdige Erscheinung ein, dafs in Folge der Begegnung der Fluthwellen, die

theils durch den Canal zwischen England und Frankreich, und theils nordwärts um Schottland in die Nordsee treten, der Fluthwechsel sich aufserordentlich ermäfsigt. In welcher Art diese Begegnung erfolgt, ist bereits erwähnt, wie sehr aber die Fluth dadurch verändert wird, ergiebt sich aus den an der Niederländischen Küste angestellten Messungen sehr augenscheinlich. Die Hauptresultate derselben sind in der nachstehenden Zusammenstellung enthalten, man darf dieselben jedoch nicht unmittelbar mit den vorstehenden vergleichen, indem sie den nicht Fluthwechsel bei Springfluthen, vielmehr den mittleren Wechsel für alle Fluthen bezeichnen, die Maafse sind also in beiden Fällen verschieden und die Angaben würden sich hier höher stellen, wenn in gleicher Weise, wie in England und Frankreich nur die Springfluthen berücksichtigt wären.

Es erschien angemessen, auch für einige Orte, die höher aufwärts an Strömen liegen, den Fluthwechsel, der überall auf Rheinländisches Fufsmaafs reducirt ist, beizufügen.*)

I. An der Niederländischen Meeresküste.

Orte	mittlerer Fluthwechsel
an dem West-Cappelschen Deiche	11 Fufs 0 Zoll
bei Breskens, Mündung der Wester-Schelde	11 - 8 -
an der Mündung der Oster-Schelde	11 - 9 -
an der Mündung des Krammer	8 - 3 -
vor Goeree	6 - 5 -
bei Hellevoetsluis	4 - 11 -
bei Brielle	4 - 9 -
bei Terheide	5 - 7 -
bei Katwijk	5 - 4 -
bei Petten	5 - 0 -
bei Nieuwen-Diep	3 - 7 -
bei Texel im Hafen Oude-Schild	3 - 4 -
bei Vlieland, im Hafen	5 - 3 -
bei Terschelling im Hafen	5 - 2 -
bei Ameland	6 - 3 -

*) Diese Angaben sind entnommen aus dem Jaarboekje vor de Leden van het koninglijk Institut van Ingenieurs. 1861.

bei Rottum	7 Fufs	5 Zoll
bei Delfzijl	8 -	3 -

II. An den Niederländischen Strömen.

an der Wester-Schelde

bei Vliessingen	11 Fufs	9 Zoll
bei Ter-Neuzen	12 -	7 -
bei Bath	13 -	6 -
bei Antwerpen	12 -	9 -

an der Oster-Schelde

bei Zierikzee	10 -	1 -
bei Bergen op Zoom	12 -	0 -

im Krammer

bei Brouwershaven	9 -	7 -

im Hollandschdiep

bei Willemstad	6 -	6 -

an der Maas

bei Rotterdam	4 -	6 -
bei Dortrecht	5 -	7 -
bei Gorinchem	1 -	7 -

am Zuiderzee

bei Harlingen	4 -	0 -
bei Amsterdam	1 -	2 -
bei Monnickendam	0 -	8 -
bei Edam	1 -	1 -
bei Enkhuizen	1 -	9 -
bei Medemblik	2 -	1 -
an der Insel Wieringen	2 -	10 -

Die erste Zusammenstellung zeigt, wie der Fluthwechsel an der Niederländischen Küste neben der Insel Texel am geringsten wird, von hier ab auf beiden Seiten sehr schnell aber wieder zunimmt. Die zweite Zusammenstellung ist dagegen in sofern wichtig, als sie erkennen läfst, dafs die Fluth beim Einlaufen in weite Stromprofile, die sich bald verengen, an Höhe zunimmt, dafs sie dagegen sehr

auffallend geringer wird, wenn sie wie im Zuiderzee durch enge Profile in weit geöffnete Binnengewässer gelangt.

Die Vorrichtungen zum Beobachten der Wasserstände solcher Gewässer, welche der Fluth unterworfen sind, verdienen noch einer besondern Erwähnung. Wollte man die Ablesungen wie an oberländischen Flüssen geschieht, an bestimmten Tagesstunden vornehmen, so würden sie beinahe ohne Werth bleiben. In manchen Häfen, wo auf diese Beobachtungen wenig Gewicht gelegt wird, ist die Anordnung getroffen, dafs die Ablesungen zur Zeit des höchsten und des niedrigsten Wassers erfolgen, und dabei zugleich die Zeiten des Eintritts derselben notirt werden sollen. Es ist indessen überaus schwierig, solche Vorschrift bei dem steten Wechsel des Wasserstandes und bei dem grofsen Einflusse der Witterung auf denselben so zur Ausführung zu bringen, dafs die Messungen die nöthige Schärfe wirklich haben. Der Beobachter mufs in diesem Falle selbst bei normalen Fluthen wenigstens eine Viertel Stunde hindurch am Pegel sich aufhalten, und wenn er den höchsten und niedrigsten Wasserstand auch genau genug angiebt, so wird es ihm doch nicht gelingen, die Zeit des Eintritts desselben richtig zu bezeichnen, so lange er nicht in kurzen Zeit-Intervallen die Höhen notirt, und aus den Curven, die sich hierdurch bestimmen, auf die Lage der Scheitelpunkte schliefst. In der Regel wird er den Zeitpunkt, in welchem er die entgegengesetzte Bewegung schon bemerkt, als denjenigen ansehn, wo der Wechsel erfolgt, also wird er die Zeiten um einige Minuten zu spät notiren. Wenn aber vollends die Fluthen sich verfrühen oder verspäten, wie häufig geschieht, so kann leicht der Wasserwechsel unbeachtet vorübergehn, und es werden alsdann willkührliche Angaben in die Tabellen geschrieben.

Um wenigstens die höchsten Wasserstände sicher zu erkennen, richtete schon Brahms an den Oldenburger Deichen einen selbstregistrirenden Pegel ein. Er stellte nämlich in einen Falz am Siele einen starken hölzernen Stab, in welchen in Abständen von einem Zolle Löcher in schräger Richtung abwärts eingebohrt waren. Dieser ganze Stab wurde sehr stark mit Oel getränkt, damit das Wasser, welches in die Löcher trat, sich nicht in das Holz einziehn konnte. Aufserdem sorgte er bei der Aufstellung dafür, dafs dieser Stab wenigstens von starkem Wellenschlage nicht getroffen wurde. Diejenigen Löcher, in welche das Hochwasser eintrat, blieben län-

gere Zeit hindurch gefüllt und so konnte man mehrere Stunden nachher, wenn man den Stab auszog und niederlegte, noch erkennen, wie hoch die Fluth gestiegen war.

Viel zweckmäfsiger sind die Einrichtungen, die man in neuerer Zeit vielfach zu diesem Behufe getroffen hat. Zunächst pflegt man nicht an einem gewöhnlichen Pegel im Vorhafen den Wasserstand abzulesen, weil theils die Wellenbewegung keine Schärfe gestattet, und theils bei dem steten Wechsel des Wasserspiegels die Latte sich so schnell mit Schlamm überzieht, dafs die Eintheilung in kurzer Zeit nicht mehr zu erkennen ist. Der Wasserstand wird daher in einem brunnenförmigen Bassin gemessen, welches durch einen Canal oder eine Röhre von mäfsigen Dimensionen mit dem Vorhafen in Verbindung steht, und bis unter das niedrigste Wasser herabreicht. Hierdurch wird der Einflufs der Wellen schon in hohem Grade aufgehoben. Wenn in diesem Brunnen auch gewisse feste Marken angebracht sind, um den ganzen Apparat immer prüfen und berichtigen zu können, so erfolgt die Ablesung doch nicht an einem feststehenden Maafsstabe, vielmehr an einem Zeiger, der durch einen Schwimmer aus Kupferblech in Bewegung gesetzt wird. Letzterer mufs hinreichend grofs sein, um nicht durch die Reibung beim Anlehnen an die Seitenwand in seiner vertikalen Bewegung gehindert zu werden, und am vortheilhaftesten ist es, durch besondere Führung dieses Berühren der Wände vollständig zu verhindern.

Fig. 22 zeigt den Durchschnitt und die Einrichtung des Pegels, der schon vor längerer Zeit neben dem Vorhafen des Kriegshafens bei Cherbourg erbaut wurde. Der Brunnen, mit Werksteinen eingefafst, stand mittelst eines gewölbten Canales mit dem Vorhafen in Verbindung. Ueber ihm war ein leichtes hölzernes Gebäude errichtet und hierin befand sich zunächst ein eisernes Rad *A*, über welches eine kupferne Kette ohne Ende geschlungen war. Diese griff mit ihren Schaaken in besondere Zähne des Rades ein, und setzte dadurch dieses in Bewegung, sobald der an ihr befestigte Schwimmer *C* sich senkte. Damit sie aber auch beim Ansteigen des Schwimmers der Bewegung folgte, so trug sie an der andern Seite ein angemessenes Gegengewicht *D*, welches ihr stets die nöthige Spannung gab. Indem die Kette, wie die Figur zeigt, auch unten geschlossen ist, so bleibt sie jederzeit an sich im Gleichgewichte und eine Störung des Letzteren, die allerdings eine verschiedene Ein-

tauchung des Schwimmers zur Folge haben würde, tritt nur insofern ein, als das Gegengewicht *D* sich zuweilen über das Wasser erhebt. Bei dem grofsen specifischen Gewichte desselben und bei dem bedeutenden Querschnitte des Schwimmers bleibt der hierdurch verursachte Fehler indessen überaus geringe, und es hindert nichts, von demselben besonders Rechnung zu tragen, indem alle dazu erforderlichen Daten gegeben sind. Das Rad *A* dreht sich demnach bei jeder Veränderung des Wasserstandes um einen entsprechenden Winkel. Da es jedoch bei dem bedeutenden Fluthwechsel, und da man ihm keine übermäfsigen Dimensionen geben konnte, mehrere Revolutionen machte, so liefs sich der zur Ablesung dienende Zeiger nicht unmittelbar an ihm anbringen. Aus diesem Grunde greift ein daran befindliches Getriebe in ein zweites Rad *B* ein, und dieses trägt an seiner Achse den Zeiger, der den Wasserstand angiebt. Ohne Zweifel ist hierdurch die Beobachtung sehr erleichtert. Aufserdem befinden sich an beiden Seiten des eingetheilten Bogens, der die Wasserstände angiebt, noch zwei lose Zeiger, die von dem ersten gefafst und soweit zurückgeschoben werden, als jener sich bewegt. Dieselben lassen also später erkennen, bis zu welcher Höhe das Wasser gestiegen oder herabgesunken ist. Die Achse, welche den ersten Zeiger trägt, verlängert sich auf der gegenüberstehenden Seite noch soweit, dafs sie aus der Wand des Gebäudes heraustritt und hier auf einem zweiten Zifferblatte jedem Vorübergehenden den Wasserstand anzeigt.

Aufserdem werden die erwähnten Schwimmer in neuester Zeit auch sehr häufig mit Vorrichtungen versehn, wodurch der jedesmalige Wasserstand mit Angabe der Zeit, in der er eingetreten ist, sich selbst aufzeichnet. Man nennt dieses selbstregistrirende Pegel. Fig. 23 stellt in der wesentlichsten Zusammensetzung denjenigen Apparat dieser Art vor, der in England vielfach in Seehäfen benutzt wird. An dem Kupferdrahte *A* befindet sich der Schwimmer, der wieder in einem Brunnen übereinstimmend mit dem Wasserstande im Vorhafen sich hebt und senkt. Der Draht ist um die Trommel *B* geschlungen, und da man in der darzustellenden Scale die Höhenunterschiede nicht in der natürlichen Gröfse, sondern in kleinerem Maafsstabe wiedergeben will, so hängt der eiserne Block *K*, der zugleich das Gegengewicht bildet und den zeichnenden Stift *F* trägt, an einem zweiten Drahte, der um die kleinere Trommel *D*

geschlungen ist. Beide Trommeln sind an derselben Achse befestigt und bewegen sich also übereinstimmend. Der schwere Block *K* wird aber zwischen gehobelten Schienen so sicher geführt, dafs er sich nur heben und senken, aber keine seitliche Bewegung machen, noch schwanken kann. Der Stift *F* wird durch eine sanft gespannte Feder vorgeschoben und lehnt sich daher mit geringem Drucke gegen die vertikale Walze *G*. Letztere steht mit einem Uhrwerke in Verbindung und wird durch dieses in 24 Stunden einmal umgedreht. Wenn man sonach um diese Walze einen darauf passenden und vorher mit entsprechenden Parallellinien versehenen Bogen legt und daran befestigt, so zeichnet der Stift auf denselben die Wasserstände eines Tages als eine Curve auf, deren Abscissen die Zeiten sind. Jene erwähnten Parallellinien die auf das sorgfältig behandelte Papier vorher aufgedruckt sind, haben theils vertikale, theils horizontale Richtungen. Die horizontalen Linien bezeichnen die Höhen-Maafse, die vertikalen dagegen die Stunden. Dafs die Papierbogen vor dem Auflegen auf die Walze genau beschnitten, auch gegen passende Ränder der Walze gelehnt und sicher dagegen befestigt werden müssen, bedarf kaum der Erwähnung, ich mufs aber hinzufügen, dafs nach den mir gemachten Mittheilungen das Abnehmen des einen und Aufbringen des andern Bogens nicht mehr als eine halbe Minute in Anspruch nimmt, also die graphische Darstellung der Wasserstands-Curve an jedem Tage nur eine höchst geringe Lücke hat, woher man beim Zusammenstellen dieser Scalen ein vollständiges Bild der Fluthwellen gewinnt. Ich mufs bemerken, dafs auch hier noch besondere feste Pegel angebracht sind, durch deren Beobachtung und Vergleichung mit dem beschriebenen Apparate man sich leicht überzeugen kann, ob letzterer die Wasserstände richtig angiebt, oder ob vielleicht die Stellung des Stiftes einer Berichtigung bedarf. Der Stift ist ein feiner Cylinder aus Reifsblei, der aus einer entsprechenden Röhre vortritt und eine zwar nicht sehr feine, doch aber klare und leicht erkennbare Linie auszieht.

Dieselbe Einrichtung ist auch sonst, wenngleich mit manchen Modificationen zu demselben Zwecke gewählt. Namentlich ist man insofern davon abgewichen, als man das Reifsblei verworfen und dafür einen Kupferdraht gewählt hat, der in eine stumpfe Spitze ausläuft. Man erreicht dabei den Vortheil, dafs Letztere sich nicht

abnutzt und zugleich eine viel feinere Linie beschreibt, die aber nicht durch Färbung dargestellt wird, sondern sich nur in das Papier eindrückt. Nichts desto weniger ist auch diese bei angemessener Spannung der Feder leicht zu erkennen und kann durch Nachziehen mit Tusche noch klarer dargestellt und fixirt werden.

Einige andere Abänderungen sind noch bei dem im Helder aufgestellten Apparate angebracht.*) Der grofse Schwimmer ist mit einer hölzernen Latte verbunden, welche unmittelbar den jedesmaligen Wasserstand gegen einen festen Nonius ablesen läfst. An zwei andern Maafsstäben daneben wird je eine Klemme erfafst, die also den nächst vorhergegangenen höchsten und den niedrigsten Wasserstand anzeigt. Die Uebertragung der Bewegung des Schwimmers auf den Block und auf den zeichnenden Stift erfolgt nicht durch Drähte, sondern durch gezahnte Stangen. Die Uhr dreht aber nicht einen Cylinder, um den das Papier geschlungen wird, sondern schiebt einen Rahmen horizontal vor, und dieser nebst dem darauf gespannten Papier hat solche Gröfse, dafs die jedesmalige Zeichnung zwei Tage umfafst. Zur Controlirung des Apparates und namentlich, um sich zu überzeugen, dafs der Schwimmer stets gleichmäfsig eintaucht, ist ganz unabhängig von demselben noch ein zweiter kupferner Schwimmer in dem Brunnen angebracht, der gleichfalls eine eingetheilte Scala trägt. Noch mufs erwähnt werden, dafs der Brunnen nicht vom Hafen Nieuwendiep aus, sondern aus dem Marsdiep, oder aus dem Strome zwischen dem Helder und der Insel Texel gespeist wird, und zu diesem Zwecke eine lange eiserne Röhre von 9 Zoll Durchmesser unter den Hauptdeich gelegt ist. Da diese Röhre aber bei dem sehr unreinen Wasser leicht sich verstopfen kann, so mufste auf deren periodische Reinigung Rücksicht genommen werden. Zu diesem Zwecke ist gleich bei der Anlage eine Kette hindurchgezogen, deren äufseres Ende von einer Buoye im Strome schwimmend erhalten wird, und deren anderes Ende neben dem Brunnen befestigt ist. Diese Kette ist mit einem Räumer versehn, und wenn man sie hin- und herzieht, so entfernt der letztere den erdigen Niederschlag aus der Röhre.

---

*) Beschrijving der zelfregistrerende peilschaal aan den Helder van C. v. d. Sterr, in den Verhandelingen van het koninklijk Institut van Ingenieurs. 1852—1853. pag. 51.

Endlich führe ich noch an, dafs man diese Apparate zuweilen auch in der Art verändert hat, dafs das aufgespannte Papier nicht vorher mit den Linien bezeichnet wird, welche sowol die Höhen als die Zeiten angeben, und wobei leicht durch unrichtige Befestigung fehlerhafte Angaben veranlafst werden könnten. Es wird vielmehr ein fester Stift über oder unter dem beweglichen angebracht und dieser zieht eine gerade Linie in bestimmter Höhe. Die vertikalen Abstände beider Linien ergeben alsdann die Wasserstände, und die zugehörigen Zeiten findet man leicht, wenn man jedesmal die Stunde und Minute notirt, in welcher nach dem Aufspannen eines neuen Papierbogens der Apparat in Thätigkeit gesetzt und schliefslich wieder ausgerückt wird.

§. 7.
Fluth und Ebbe in der Ostsee.

In die Binnenmeere, welche nur durch schmale Oeffnungen mit dem Weltmeere verbunden sind, dringt die Fluthwelle ohne Zweifel gleichfalls ein, indem sie aber nach ihrem Eintritt sich weit ausbreitet, so nimmt ihre Höhe, oder der Fluthwechsel so sehr ab, dafs er sich den gewöhnlichen Beobachtungen gemeinhin ganz entzieht. Das Mittelländische Meer zeigt an manchen Stellen und vorzugsweise gegen das Ende des Adriatischen Meeres einen ganz bedeutenden Fluthwechsel, während ein solcher an andern Küsten, namentlich an der Französischen gar nicht bemerkbar sein soll. Dieses wurde mir wenigstens von den Ingenieuren gesagt, als ich in Marseille, Cette und in mehreren andern Häfen mich hiernach erkundigte. Die bereits erwähnten Französischen Fluthtabellen bezeichnen dagegen die Hafenzeiten für einige Punkte der südlichen Französischen, so wie der Italienischen und Illyrischen Küste: die Gröfse des Fluthwechsels wird aber nicht angegeben.

Ob in der Ostsee eine geringe Fluth statt findet, war lange zweifelhaft. Bei Kiel hatte man freilich einen regelmäfsigen Wechsel des Wasserstandes immer bemerkt. An den der Ostsee zugekehrten Küsten der Dänischen Inseln war ein solcher gleichfalls wahrgenommen, wie Schumacher in einer Anmerkung zu Bessel's Vorlesung über Fluth und Ebbe sagt, auch war es den Lootsen in

Travemünde nicht entgangen, dafs bei ruhiger Witterung der Strom in 24 Stunden zweimal ein- und zweimal auszugehn pflegt. Nichts desto weniger war ganz allgemein die Ansicht verbreitet, dafs die Ostsee keine Fluthen habe, und in der That erkannte der Seemann, der in andern Meeren die grofsartigen Wirkungen dieser Erscheinung gesehn, und erfahren hat, welchen wesentlichen Einflufs dieselbe auf den Betrieb der Schiffahrt ausübt, in dem geringfügigen Wasserwechsel von wenigen Zollen, der überdiefs bei jedem stärkeren Winde verschwindet, die Fluth und Ebbe nicht wieder.

Das lebhafte Interesse, welches Alexander von Humboldt an dem Gegenstande nahm, und seine wiederholten Anfragen, ob gar keine Spur der Fluth sich in der Ostsee nachweisen lasse, veranlafsten mich, die in unsern Häfen bisher angestellten Wasserstands-Beobachtungen in dieser Beziehung zu vergleichen. Diese Beobachtungen reichen grofsentheils bis in das vergangene Jahrhundert zurück, da sie aber früher nicht in einer bestimmten Stunde gemacht waren, vielmehr nur den Wasserstand jedes Tages, wie er gelegentlich abgelesen war, angeben, so blieben sie für diesen Zweck ganz unbrauchbar. Erst im Jahre 1845 wurde die Vorschrift erlassen, dafs der Wasserstand jedesmal Mittags um 12 Uhr beobachtet und in die Tabelle eingetragen werden solle. Seit dieser Zeit geben die Tabellen also einen sichern Anhalt zur Entscheidung der vorliegenden Frage.

Indem der Mond von einem Tage zum andern seine Stellung zur Sonne ändert, so müssen die täglich am Mittage gemachten Beobachtungen den Einflufs dieser verschiedenen Stellungen nachweisen und etwa in vierzehn Tagen eine volle Periode umfassen, aus der sich die Zeit des Hoch- und Niedrigwassers entnehmen läfst. In dieser Weise war auch bereits durch das Grofsherzoglich Mecklenburgische Statistische Bureau das Vorhandensein der Fluth und Ebbe im Hafen von Wismar nachgewiesen.*)

Die Resultate dieser Vergleichung der täglichen Wasserstands-Beobachtungen der Preufsischen Häfen und zwar für den Zeitraum von 1846 bis 1856 sind in den Abhandlungen der mathematischen Klasse der Königl. Academie der Wissenschaften

*) Ueber die Wahrnehmbarkeit von Ebbe und Fluth in der Ostsee. Archiv für Landeskunde. Schwerin 1856.

für 1851 veröffentlicht, und sie ergeben für einige Häfen und Lootsen-Stationen unzweifelhaft das Vorhandensein der Fluth und deren Fortschreiten von Westen nach Osten. Die Mehrzahl dieser Tabellen führten dagegen zu keinem Resultate. Gerade diese waren es aber, welche schon bei flüchtiger Durchsicht den Verdacht erweckten, dafs auf ihre Zusammenstellung wenig Sorgfalt verwendet sei. Der Lootse beobachtet den Wasserstand so genau, als es für die Zwecke der Schiffahrt nöthig ist, und auf einzelne Zolle legt er wenig Gewicht. Diese Tabellen enthielten daher grofsentheils nur Angaben in Viertel Fufsen und vielfach war derselbe Wasserstand mehrere Wochen und selbst Monate hindurch eingeschrieben. Andere Tabellen, die augenscheinlich mit mehr Sorgfalt aufgestellt waren, ergaben das auffallende Resultat, dafs mehrere Jahre hindurch mit grofser Sicherheit eine gewisse Hafenzeit sich herausstellte, die plötzlich um einige Stunden sich veränderte und eben so regelmäfsig sich dauernd wiederholte. Der Grund hiervon ist wohl ohne Zweifel darin zu suchen, dafs die Pegel bei etwaigem Personenwechsel in einer andern Stunde abgelesen wurden. Die erwähnte Vorschrift in Betreff der Beobachtungszeit wird selten in aller Strenge beachtet. Der Dienst bringt es mit sich, dafs der Wasserstand schon am frühen Morgen abgelesen werden mufs, und wenn er sich nicht sehr stark ändert, so wird diese Ablesung auch in die Tabelle eingetragen. Es ergiebt sich aber einfach, dafs die berechnete Hafenzeit um eben soviel Stunden von der richtigen abweicht, als die Ablesungen zu früh oder zu spät gemacht sind.

Unter diesen Umständen konnten nur die Resultate für diejenigen Beobachtungsorte als sicher angesehn werden, woselbst die einzelnen Jahrgänge ungefähr zu denselben Hafenzeiten führten. Dieses war der Fall:

1. auf der Pegel-Station Barhöft. Dieselbe liegt 2 Meilen nördlich von Stralsund auf der Ecke, die das Stralsunder Fahrwasser von dem Barther trennt. Die Hafenzeit daselbst fand ich 7 Uhr 27 Minuten und den mittleren Fluthwechsel 1,5 Zoll.

2. Die Lootsen-Station bei Wittower Posthaus, etwa 2 Meilen nordwestlich von der ersten, auf der südlichen Spitze der langen Halbinsel, die sich von Wittow ab an das Stralsunder Fahrwasser hinzieht. Hafenzeit 7 Uhr 37 Min., Fluthwechsel 1,3 Zoll.

3. Glowe, am nordwestlichen Ende von Jasmund auf Rügen,

woselbst nur während einiger Monate Beobachtungen angestellt waren. Hafenzeit 7 Uhr 39 Minuten. Fluthwechsel 1,4 Zoll.

4. Für den Hafen Stolpmünde ergaben die dreijährigen Beobachtungen 1846 bis 1849 sehr übereinstimmend die Hafenzeit 11 Uhr 36 Minuten und den mittleren Fluthwechsel 1,0 Zoll. Aus den folgenden Jahrgängen konnten keine übereinstimmende Resultate gezogen werden.

Die Methode, nach welcher diese Rechnungen geführt sind, will ich kurz angeben, da vielleicht auch anderweitig davon Gebrauch gemacht werden kann, um schwache Spuren von Fluth und Ebbe sicher zu erkennen.

Zuerst wurden die Tage des Voll- und Neumondes, so wie des ersten und letzten Viertels bezeichnet. Jedes Zeitintervall zwischen zwei Mondphasen wurde alsdann in sieben gleiche Theile getheilt und für jeden der sechs zwischen liegenden Theile durch Interpolation der entsprechende Wasserstand ermittelt, wenn nicht gerade der Voll- oder Neumond um sieben Tage von dem Viertel entfernt war. Demnächst trug ich diese Wasserstände in eine Tabelle ein, die vierzehn Spalten enthielt. In die erste Spalte wurde der Wasserstand am Tage des Vollmondes oder des Neumondes, in die achte der am Tage des ersten und letzten Viertels und in die übrigen die der zwischen liegenden Tage, unverändert oder eventuell nach der erwähnten Interpolation, eingeschrieben.

Die für jeden Jahrgang aus den einzelnen Spalten gezogenen Summen wurden demnächst als Ordinaten der Curve, die wie oben gezeigt worden, eine Sinuslinie ist, behandelt, und es kam darauf an, die Zeit, oder die Abscisse des obern Scheitelpunktes und die Differenz der Ordinaten der obern und untern Scheitel zu bestimmen. Hierbei mufste aber augenscheinlich diejenige Sinuslinie ermittelt werden, welche sich den 14 gegebenen Ordinaten am vortheilhaftesten anschliefst. Die Achse dieser Sinuslinie liefs sich leicht finden, da eine einfache Betrachtung ergab, dafs der wahrscheinlichste Werth ihrer Höhe durch das arithmetische Mittel aus allen Ordinaten gegeben ist. Hiernach konnten die Ordinaten leicht auf diese Achse reducirt werden.

Wird nun der obere Scheitel der Sinuslinie als Anfangspunkt der Abscissen angesehn, so ist die Gleichung der Curve

$$y = b \,.\, \mathrm{Cos}\, x$$

b bezeichnet hier den Abstand des obern und untern Scheitels der Curve von der Achse, also die Hälfte des gesuchten mittleren Fluthwechsels. y ist die Ordinate, welche für jeden Theilpunkt aus der erwähnten tabellarischen Zusammenstellung der Beobachtungen zu entnehmen ist, und endlich ist x die zugehörige Abscisse, deren Anfangspunkt jedoch durch das Loth gegeben wird, welches von dem gesuchten obern Scheitel auf die Achse fällt. Die ganze Länge der Achse für die volle Sinuslinie ist gleich 2π, und indem sie in 14 Theile getheilt wird, so mifst jeder derselben 25° 42′, 87. Diese Einheit, welche ich c nenne, ist den 14 Ordinaten entsprechend mit 0, 1, 2, 3 u. s. w. bis mit 13 (im Allgemeinen mit n) zu multipliciren, um die Abscissen darzustellen, welche von dem Voll- und Neumonde ab gezählt werden. Setze ich endlich die noch unbekannte Abscisse des obern Scheitels der Sinuslinie und zwar unter Beibehaltung desselben Anfangspunktes und gleichfalls in Graden und Minuten ausgedrückt gleich u, so wird

$$x = nc - u$$

und

$$y = \mathrm{Cos}\, nc \,.\, b\, \mathrm{Cos}\, u + \mathrm{Sin}\, nc \,.\, b\, \mathrm{Sin}\, u$$

Indem die 14 Zahlenwerthe, welche die Tabelle für y ergiebt, und aufserdem die Sinus und Cosinus der bekannten Winkel nc eingeführt werden, so erhält man 14 Gleichungen, in welchen zwei Unbekannte, nämlich b Sin u und b Cos u vorkommen. Es handelt sich also darum, die wahrscheinlichsten Werthe der letzteren zu finden, und hierbei tritt die wesentliche Erleichterung ein, dafs die Summen der Producte oder der Quadrate der trigonometrischen Functionen der Winkel nc, welche sich gleichmäfsig über den ganzen Kreis vertheilen, entweder gleich Null oder gleich 7 werden. Wenn man nämlich durch das Zeichen Σ diese Summen ausdrückt, so ist für die obigen Winkel

$$\Sigma(\mathrm{Sin}\, nc \,.\, \mathrm{Cos}\, nc) = 0$$
$$\Sigma(\mathrm{Sin}\, nc \,.\, \mathrm{Sin}\, nc) = 7$$
$$\Sigma(\mathrm{Cos}\, nc \,.\, \mathrm{Cos}\, nc) = 7$$

Führt man diese Werthe in die Ausdrücke ein, welche nach der Methode der kleinsten Quadrate für die beiden Unbekannten sich ergeben, so fällt im Zähler und Nenner jedesmal ein Glied fort, und aufserdem hebt sich der Nenner gegen einen Factor des Zählers, auf so dafs man die sehr einfachen Formeln erhält

$$b \operatorname{Sin} u = \tfrac{1}{7} \Sigma (y \operatorname{Sin} nc)$$
$$b \operatorname{Cos} u = \tfrac{1}{7} \Sigma (y \operatorname{Cos} nc)$$

also
$$tgt\, u = \frac{\Sigma (y \operatorname{Sin} nc)}{\Sigma (y \operatorname{Cos} nc)}$$

b ist seiner Natur nach immer positiv, die Zeichen der Werthe von $b \operatorname{Sin} u$ und $b \operatorname{Cos} u$ lassen daher leicht erkennen, in welchen Quadrant der Winkel u fällt.

u ist in dem so gefundenen Resultate als Winkel, also in Graden und Minuten ausgedrückt, und es kommt darauf an, hieraus die Anzahl von Stunden zu finden, die zwischen der Zeit des Hochwassers und der Culmination des Mondes liegen. Indem die Länge der Achse der vollen Sinuslinie, die hier in 14 gleiche Theile getheilt war, die halbe Umlaufszeit des Mondes um die Erde bezeichnet, und während derselben der Eintritt des Hochwassers nach und nach genau um 12 Stunden sich verspätet, so entspricht jeder einzelne Theil einer Verspätung von $\frac{12}{14}$ Stunden. Da aber diese Länge der Achse einen vollen Kreis darstellt, so mifst jeder Theil derselben $\frac{360}{14}$ Grade. Hieraus ergiebt sich die gesuchte Hafenzeit in Stunden gleich

$$12 - \frac{12}{14} \cdot \frac{14}{360} \cdot u = 12 - \frac{1}{30} \cdot u$$

Es bedarf kaum der Erwähnung, dafs die Minuten in dem Werthe des Winkels u vor der Einführung desselben in vorstehende Formel in Theile des Grades verwandelt werden müssen.

Ueber die Ausführung der Rechnung und über die daraus hergeleiteten Resultate ist noch Einiges zu erwähnen. Der Rechnung liegt die Voraussetzung zum Grunde, dafs die Achse der Sinuslinie horizontal ist, d. h. dafs während einer Beobachtungsperiode das Wasser unabhängig von Fluth und Ebbe weder steigt noch fällt. Dieses ist nur selten der Fall, um aber durch gar zu abweichende Wasserstände das Resultat nicht zu entstellen, so schlofs ich alle diejenigen Reihen aus, in welchen die erste Beobachtung von der letzten um mehr als 3 Zoll abwich, so wie auch alle diejenigen, in welchen von einem Tage zum andern das Wasser um mehr als 3 Zoll gestiegen oder gefallen war. Hierzu kommt noch, dafs alle Messungen ausgeschlossen werden mufsten, wo der Wasserstand

wegen besonders hohen Seeganges oder wegen des Eises nicht sicher beobachtet werden konnte. Hiernach reducirte sich die Anzahl der Beobachtungsreihen für den Jahrgang auf 7 bis 10. Dieses liefs sich nicht vermeiden, da augenscheinlich einzelne Reihen, die besonders starke Aenderungen angaben, einen überwiegenden Einflufs auf das Resultat gehabt haben würden. Mit Rücksicht hierauf und auf die oben angegebene Unsicherheit in Betreff der Beobachtungszeit kann es nicht befremden, dafs selbst die eilfjährigen Messungen für die meisten Häfen noch zu keinem Resultate führten.

Die Gröfse *b* oder der mittlere halbe Fluthwechsel drückt keineswegs das arithmetische Mittel dieser Gröfsen aus, wie solche sich aus den einzelnen Beobachtungsreihen herausstellen würde, sondern bleibt immer unter demselben. Der Grund davon ist leicht einzusehn. Die einzelnen Reihen stellen nämlich keineswegs übereinstimmende Sinuslinien dar, vielmehr liegt der obere Scheitel der einen an ganz andrer Stelle, als der der andern. Aufserdem hebt oder senkt eine dauernde Veränderung des Wasserstandes auch die beiden Enden der meisten dieser Curven. Die gesuchte mittlere Curve, welche sich allen einzelnen am besten anschliefsen soll, ist daher viel flacher gekrümmt, als die einzelnen es sind, oder *b* wird bedeutend kleiner gefunden, als das Mittel aus den halben Fluthwechseln in den einzelnen Beobachtungsreihen.

Es darf kaum erwähnt werden, dafs diese Beobachtungen den Unterschied zwischen Springfluthen und todten Fluthen gar nicht erkennen lassen, weil jede Reihe in gleicher Weise alle verschiedenen Fluthen umfafst und sich aus ihnen zusammensetzt. An den Tagen des Voll- und Neumondes giebt sie, wenn um 12 Uhr Mittags die Wasserstände gemessen werden, das Hochwasser, an den Tagen des ersten und letzten Viertels das Niedrigwasser an. Die gefundene Curve zieht sich also durch das Hochwasser der Springfluthen und das Niedrigwasser der todten Fluthen, woher sie auch den mittleren Wasserstand der See nicht erkennen läfst.

Indem hierzu noch kommt, dafs in den langen Perioden von 14 Tagen nur selten die Witterung beständig bleibt, und überdiefs etwas Unnatürliches darin liegt, eine Untersuchung über Fluth und Ebbe anzustellen, ohne sich zu überzeugen, ob der Wasserstand im Laufe eines Tages wirklich zweimal sich hebt und zweimal sich

senkt, so schien es dringend nothwendig, die Beobachtungen bei günstiger Witterung von Stunde zu Stunde wiederholen zu lassen.

Dieses ist in den Jahren 1857 und 1858 in den sämmtlichen Preufsischen Häfen und auf den kleineren Lootsen-Stationen geschehn, und wenn auch auf einigen der letzteren die Anzahl der Beobachtungsreihen, die eine volle Fluthperiode umfassen, zu geringe blieb, als dafs man ein sicheres Resultat daraus hätte herleiten können, so stellten dennoch diese Beobachtungen das regelmäfsige Fortschreiten der Fluthwelle in der Ostsee viel überzeugender dar, als jene täglichen Beobachtungen. Aufserdem boten sie Gelegenheit, auch das Verhalten der Springfluthen und der todten Fluthen, so wie manche Eigenthümlichkeiten der Ostsee-Fluthen zu erkennen. In dieser Beziehung waren besonders wichtig die in Travemünde, dem Hafen von Lübeck, angestellten Beobachtungen, die nahe drei Jahrgänge umfafsten und an jedem Tage von Morgen bis Abend stündlich gemacht sind. Sie liefsen die Einzelnheiten der Erscheinung viel deutlicher wahrnehmen, als die Messungen an der Preufsischen Küste, insofern die Fluthwelle bei Travemünde eine bedeutend gröfsere Höhe hat, als weiter östlich.

Es gab sich indessen bald zu erkennen, dafs namentlich bei anhaltend warmer Witterung aufser den von der Fluth herrührenden Schwankungen des Wasserstandes, derselbe noch von den regelmäfsig umsetzenden Land- und Seewinden abhängt. Oft bemerkt man, dafs drei und mehr Tage hintereinander in den Sommermonaten das Wasser während des Tages mehrere Zolle fällt, und während der Nacht wieder um eben so viel steigt. Beispielsweise stand am 1. Juli 1858 zwischen 7 und 9 Uhr Morgens bei frischem Südwest-Winde das Wasser bei Memel auf 2 Fufs 1 Zoll. Indem der Wind hierauf nachliefs und gegen Abend nach Osten umging, so fiel das Wasser bis 8 Uhr Abends bis auf 1 Fufs 6 Zoll herab. An beiden folgenden Tagen wiederholte sich sehr genau dieselbe Veränderung des Windes. Vom frühen Morgen bis einige Stunden nach Mittag war der Wind westlich und so stark, dafs er zeitweise als frisch bezeichnet ist. Abends wurde er dagegen sehr schwach, und ging nach Osten über. Am 2. Juli stand das Wasser zwischen 8 und 10 Uhr Morgens auf 1 Fufs 10 Zoll, und fiel bis 8 Uhr Abends

auf 1 Fufs 7 Zoll. Am 3. Juli stand es von 5 bis 9 Uhr Morgens wieder auf 1 Fufs 10½ Zoll, während es um 5 Uhr Abends auf 1 Fufs 6½ Zoll herabsank.

Wenn man diese und alle ähnlichen Beobachtungen nach den Fluthperioden zusammenstellt, so sind die beiden Reihen, die zu demselben Tage gehören, wesentlich von einander verschieden. Falls daher während der Nacht keine Messungen angestellt sind, so fehlt die Ausgleichung der sehr grofsen von Fluth und Ebbe unabhängigen Schwankungen, und man müfste aus den nur während des Tages angestellten Beobachtungen den regelmäfsig wiederkehrenden starken Wechsel des Wasserstandes als Wirkung der Fluth und Ebbe in Rechnung stellen, was er doch nicht ist. Es leuchtet ein, dafs man in diesem Falle, namentlich bei einer beschränkten Anzahl von Beobachtungsreihen leicht zu einem sehr unrichtigen Resultate gelangen würde.

Es rechtfertigt sich hiernach, dafs, soweit es geschehn konnte, auch während der Nacht die Beobachtungen fortgesetzt sind. In den bedeutendsten Häfen bot dieses keine Schwierigkeit, weil die Lootsenwache fortwährend besetzt bleibt, in den kleineren Häfen und auf den isolirten Lootsen-Stationen konnte es dagegen nur ausnahmsweise geschehn und mufste zum Theil ganz unterbleiben.

Die Anstellung der stündlichen Beobachtungen wurde wesentlich dadurch erleichtert, dafs die Lootsen-Commandeure vielfach eine auffallende Theilnahme dafür zeigten, und mit lebhaftem Interesse die schwachen Spuren von Fluth und Ebbe in ihren Häfen verfolgten. Namentlich in Swinemünde und Memel sind diese Beobachtungen nur bei stark bewegter See und beim Froste unterbrochen: sonst setzten sie sich regelmäfsig Wochen und selbst Monate hindurch von Stunde zu Stunde fort. Von denselben konnten freilich sehr viele nicht benutzt werden, denn zunächst fielen diejenigen von selbst aus, die keine volle Fluthperiode umfafsten. In dieser Beziehung gestattete ich mir, und namentlich für solche Stationen, wo nur wenige Messungen angestellt waren, die Ausnahme, dafs wenn die erste oder die letzte Beobachtung in einer Periode fehlte, ich diese aus den beiden nächstliegenden interpolirte. Demnächst sind aber auch alle diejenigen Reihen ausgeschlossen, in welchen die Differenz zwischen der ersten und letzten Beobachtung mehr als 4½ Zoll beträgt. Es blieben nach dieser Ausscheidung im Ganzen noch

über 1500 Beobachtungsreihen übrig, welche den Rechnungen zum Grunde gelegt werden konnten.

Diese Rechnungen stimmten wesentlich mit den für die täglichen Beobachtungen ausgeführten überein. Um jedoch möglichst genaue Resultate zu erhalten, suchte ich theils aus den einzelnen Beobachtungsreihen, und theils aus den Zusammenstellungen derselben noch den Einfluſs zu beseitigen, welchen das von Fluth und Ebbe unabhängige Steigen oder Fallen des Wassers auf das Resultat ausübt. Indem nämlich die Wasserstände jeder Fluthperiode wieder die Ordinaten einer Sinuslinie sind, deren Achse aber, wenn das Wasser im Allgemeinen steigt oder fällt, nicht horizontal ist, so drehte ich, nachdem die Ordinaten gezeichnet und der Durchschnittspunkt der mittleren Ordinate mit der Achse bestimmt war, letztere soweit, daſs die Curve sich anscheinend am vortheilhaftesten einer Sinuslinie anschloſs. Man könnte freilich die Neigung der Achse noch als dritte Unbekannte einführen und ihren wahrscheinlichsten Werth ganz methodisch bestimmen. Die Rechnung erschwerte sich dadurch aber in so hohem Grade, daſs ich bei der mehr als hundertfachen Wiederholung derselben mich hierzu nicht entschlieſsen mochte.

Zunächst bezeichnete ich in den Wasserstands-Beobachtungen die Stunde der obern oder untern Culmination des Mondes, d. h. die volle Stunde, welche der im Berliner astronomischen Jahrbuche angegebenen Culminations-Zeit am nächsten liegt. Diese Bestimmung war durchaus genügend, da die aus dem Längen-Unterschiede gegen Berlin herrührende Differenz im Stande des Mondes gegen die Sonne im äuſsersten Falle nur eine halbe Zeitminute betrug.

Sodann trug ich die Beobachtungen in eine Tabelle ein, die 13 Spalten hatte. In die erste wurde der Wasserstand 6 Stunden vor der Culmination, in die zweite 5 Stunden vor und so fort bis 6 Stunden nach der Culmination eingetragen. Hierbei erlaubte ich mir aber, wenn am Anfange oder am Ende einige Beobachtungen fehlten, diejenige, die 7 Stunden nach der Culmination gemacht war, in die erste Spalte einzutragen oder umgekehrt. Namentlich sah ich mich hierzu oft gezwungen, wenn die Messungen während der Nacht unterbrochen waren.

Aus den Zahlen in jeder Spalte wurden nunmehr die arithme-

tischen Mittel genommen, und diesès waren die Ordinaten der zu bestimmenden Sinuslinie. Die Zwischenzeit von einer Culmination des Mondes bis zur nächsten beträgt durchschnittlich 12ʰ 25′ 14″,2 oder 12,4206 Stunden. Die beiden äufsern Ordinaten gehören daher zusammen zu 1,4206 Stunden, während jede andere 1 Stunde darstellt. Um demnach die Höhe der Achse der Sinuslinie zu finden, mufs die Summe der beiden äufsern mit 0,7103 multiplicirt, und nachdem dieses Product zu den Werthen der übrigen addirt ist, die ganze Summe durch 12,4206 dividirt oder mit 0,0805 multiplicirt werden. Dieser Werth stellt aber auch, wenn eine Neigung der Achse angenommen wird, die Höhe des Durchschnittspunktes der Achse mit der Ordinate dar, welche in die Stunde der Culmination des Mondes fällt.

Nachdem die Ordinaten auf die Achse reducirt sind, haben sie theils das positive und theils das negative Zeichen; ich nenne dieselben y. x bezeichne wieder die zugehörigen Abscissen, die vom obern Scheitelpunkte, also von der Zeit des Hochwassers ab gemessen werden, und b ist der Abstand des obern und untern Scheitels von der Achse. Alsdann ist

$$y = b \operatorname{Cos} x$$

Wenn man nun, übereinstimmend mit den Beobachtungen, die Abscissen von der Stunde der Culmination des Mondes, oder von der mittleren Ordinate ab zählt, so ist

$$x = u + nc$$

u ist die Abscisse, die zum obern Scheitel der Sinuslinie gehört, und von der angenommen wird, dafs sie negativ ist, oder dafs das Hochwasser vor der Culmination des Mondes eintritt. n ist die Anzahl der Stunden, um welche die Beobachtung vor oder nach der Culmination gemacht ist, und c die Abscisse, welche einer Stunde entspricht.

$$c = \frac{2\pi}{12{,}4206} = 28^\circ\, 59'\, 2'',8$$

Indem man für n die ganzen Zahlen von -6 bis $+6$ schreibt, so erhält man die dreizehn Winkel, deren Functionen bei jeder einzelnen Rechnung den Zahlen in den 13 Spalten entsprechend sich wiederholen.

$$y = b \operatorname{Cos}(u + nc)$$
$$= \operatorname{Cos} nc \,.\, b \operatorname{Cos} u - \operatorname{Sin} nc \,.\, b \operatorname{Sin} u$$

Bekannt sind in diesem Ausdrucke y, Cos nc und Sin nc. Die beiden Unbekannten b Cos u und b Sin u findet man nach der Methode der kleinsten Quadrate:

$$b \operatorname{Sin} u = -\frac{\Sigma(y \operatorname{Sin} nc)}{\Sigma(\operatorname{Sin} nc \,.\, \operatorname{Sin} nc)}$$

und

$$b \operatorname{Cos} u = \frac{\Sigma(y \operatorname{Cos} nc)}{\Sigma(\operatorname{Cos} nc \,.\, \operatorname{Cos} nc)}$$

Aus den vorstehend angegebenen Winkeln findet man aber

$$\log \Sigma(\operatorname{Sin} nc \,.\, \operatorname{Sin} nc) = 0{,}79252$$

und

$$\log \Sigma(\operatorname{Cos} nc \,.\, \operatorname{Cos} nc) = 0{,}83233$$

Die Rechnung wird hiernach überaus leicht. Man schlägt ein für allemal die Logarithmen von Sin nc und Cos nc auf, schreibt die dreizehn Werthe derselben auf ein Blättchen, das sich den Spalten der Tabelle anschliefst, und summirt sie zu den Logarithmen von y. Die Rechnung darf nicht genauer, als mit drei Decimalstellen gemacht werden. Zieht man nun log b Cos u von log b Sin u ab, so erhält man die Tangente von u in Graden und Minuten, es ist aber vortheilhaft, u nur in Graden und Decimaltheilen derselben auszudrücken. Da b jederzeit negativ ist, so ergiebt sich aus den Zeichen der trigonometrischen Functionen leicht, in welchen Quadrant u fällt. Der Werth von b läfst sich, indem man Sin u und Cos u abzieht, aus beiden Ausdrücken finden.

Indem nun die Länge der ganzen Achse gleich

$$360° = 12{,}4206 \text{ Stunden}$$

ist, so darf man die gefundene Anzahl von Graden nur mit 0,0345 multipliciren, um u in Stunden auszudrücken. Ist u positiv, so tritt das Hochwasser vor der Culmination des Mondes ein, bei negativem u dagegen nach derselben. Im letzten Falle bezeichnet u unmittelbar die Hafenzeit, indem am Tage des Voll- und Neumondes die Sonne und der Mond nahe zu gleicher Zeit culminiren, im ersten Falle mufs man dagegen die gefundene Stundenzahl von 12

abziehn. Im Folgenden ist jedesmal die Zeit desjenigen Hochwassers berechnet, welches der Culmination des Mondes am nächsten liegt, oder für welches u kleiner als 180 Grade ist.

Indem ich in dieser Weise die Beobachtungen berechnete, so überzeugte ich mich bald, dafs die Hafenzeiten für denselben Ort sehr verschieden ausfielen, je nachdem die zum Grunde gelegten Beobachtungsreihen mehr oder weniger Springfluthen oder todte Fluthen umfafsten. In dieser Beziehung mufste also jedenfalls eine Sonderung eingeführt werden. Nichts desto weniger blieben noch immer, und zwar nicht nur in der Bestimmung von b, sondern auch in der von u sehr bedeutende Differenzen. Eine fernere Trennung der Beobachtungsreihen nach den Monaten führte keine gröfsere Uebereinstimmung herbei, es ergab sich also, dafs die Fluthwelle im Sommer, oder im wärmeren Wasser, eben so schnell, wie im Winter fortschreitet. Dagegen zeigte es sich deutlich, dafs die Richtung und Stärke des Windes einen wesentlichen Einflufs auf die Zeit des Hochwassers ausübt. Westliche Winde beschleunigen die Fluthwelle in der Ostsee, während östliche sie verzögern. Namentlich in den vom Sunde und den Belten weit entfernten Häfen ist die Einwirkung des Windes sehr grofs. So traten bei anhaltendem Westwinde die Springfluthen zwischen dem 26. und 29. Juni 1858 in Memel um zwei Stunden früher ein, als sonst geschieht, und viele Beobachtungsreihen sind vollständig umgekehrt, indem das Hochwasser in eine Zeit fällt, wo die übrigen Beobachtungen Niedrigwasser ergeben. Man darf deshalb nicht hoffen, aus wenigen Beobachtungsreihen die Zeit des Hochwassers sicher zu bestimmen. Es mufs aber wieder darauf aufmerksam gemacht werden, dafs die Abweichung der einzelnen Beobachtungsreihen in dieser Beziehung auch einen wesentlichen Einflufs auf den Werth von b, oder auf die Gröfse des halben Fluthwechsels hat. b wird nämlich immer um so kleiner, je weniger die Zeiten des Hochwassers mit einander übereinstimmen. Nach einzelnen Reihen ist der Fluthwechsel oft doppelt so grofs, als er sich für diejenige Sinuslinie herausstellt, welche der Summe mehrerer Reihen am besten entspricht.

Die Unbekannte u in Stunden ausgedrückt, kann man nicht mehr Hafenzeit nennen, sobald sie für Springfluthen und andere Fluthen verschiedene Werthe annimmt, wie an den Ostseeküsten un-

zweifelhaft der Fall ist. Sie bezeichnet den Zeit-Unterschied zwischen der Culmination des Mondes und dem Eintritt des Hochwassers. Ich nenne sie in der folgenden Zusammenstellung T, und zwar bedeutet das davor stehende positive Zeichen, dafs das Hochwasser nach der Culmination, das negative aber, dafs dasselbe vor der Culmination erfolgte. Um eine Vergleichung der verschiedenen Werthe von T unabhängig von der aus dem Längen-Unterschiede der Beobachtungsorte entspringenden Zeit-Differenz anstellen zu können, ist noch die Reduction auf Berliner Zeit beigefügt. T' bezeichnet nämlich die Stundenzahl, um welche das Hochwasser nach dem Durchgange des Mondes durch den Meridian der Berliner Sternwarte eintritt.

Die nachstehenden Beobachtungsorte sind grofsentheils die bekannten Seehäfen. Die Lage der Station Glowe auf Rügen ist schon oben bezeichnet. Thiessow ist die Lootsen-Station auf der südöstlichen Spitze der Halbinsel Mönchgut auf Rügen, und West-Dievenow endlich die Lootsen-Station am Ausflufs der Dievenow ohnfern Cammin.

Die Classification der Fluthen ist in der Art geschehn, dafs die sieben Fluthen, welche dem Voll- und Neumonde zunächst folgen, Springfluthen, die sieben ersten Fluthen nach dem ersten und letzten Viertel todte Fluthen und alle übrige mittlere Fluthen genannt sind.

Beobachtungsort	Anzahl der Beob.Reih.	T	T'	b
I. Springfluthen.				
Travemünde	134	— 6,32	— 6,15	2,19 Zoll
Glowe	5	— 3,72	— 3,72	0,40 -
Thiessow	5	— 2,08	— 2,08	1,25 -
Swinemünde	122	— 1,60	— 1,66	0,56 -
West-Dievenow	5	— 0,96	— 1,05	1,02 -
Colbergermünde	19	— 0,06	— 0,21	0,40 -
Rügenwaldermünde . . .	16	+ 0,01	— 0,19	0,47 -
Neufahrwasser	5	+ 2,66	+ 2,31	0,37 -
Pillau	9	— 0,58	— 1,02	0,32 -
Memel	96	+ 0,82	+ 0,31	0,24 -

Beobachtungsort.	Anzahl der Beob.Reih.	T	T'	b
II. Mittlere Fluthen.				
Travemünde	277	— 5,73	— 5,56	1,88 Zoll
Glowe	18	— 4,13	— 4,13	0,24 -
Thiessow	3	— 3,02	— 3,02	0,74 -
Swinemünde	134	— 0,91	— 0,97	0,22 -
West-Dievenow	21	— 0,40	— 0,49	0,43 -
Colbergermünde	55	+ 0,24	+ 0,10	0,42 -
Rügenwaldermünde	82	+ 0,14	— 0,06	0,24 -
Neufahrwasser	29	+ 2,41	+ 2,06	0,23 -
Pillau	31	— 0,46	— 0,89	0,21 -
Memel	155	+ 1,67	+ 1,15	0,16 -
III. Todte Fluthen.				
Travemünde	133	— 5,32	— 5,15	1,85 Zoll
Thiessow	3	— 1,26	— 1,26	0,42 -
Swinemünde	72	— 0,66	— 0,69	0,48 -
West-Dievenow	6	+ 1,66	+ 1,57	0,26 -
Colbergermünde	11	+ 2,48	+ 2,34	0,55 -
Rügenwaldermünde	9	+ 1,93	+ 1,73	0,28 -
Stolpmünde	4	+ 3,82	+ 3,59	0,16 -
Neufahrwasser	7	+ 3,98	+ 3,62	0,29 -
Pillau	15	+ 2,58	+ 2,15	0,26 -
Memel	81	+ 4,72	+ 4,21	0,12 -

Wenn in dieser Zusammenstellung sich auch vielfache Unregelmäfsigkeiten und zwar eben so wohl in den Werthen von T, wie von b ergeben, so zeigt sich dennoch im Allgemeinen ganz unverkennbar, dafs die Fluthwelle von Westen nach Osten die Ostsee durchläuft und während ihres Laufes nach und nach an Höhe verliert. Die erheblichste Anomalie giebt sich bei Neufahrwasser zu erkennen, woselbst das Hochwasser später als in Pillau und mit Ausschlufs der todten Fluthen selbst später als in Memel eintritt. Der Grund hiervon ist wohl allein in der starken Krümmung des Weges zu suchen, den die Fluthwelle machen mufs, um die Halbinsel Hela zu umkreisen und nach Neufahrwasser zu gelangen. In ähnlicher Weise kommt auch die Fluthwelle, indem sie durch den

Grofsen Belt in die Ostsee tritt, etwa eine Stunde früher nach Wismar, als nach Travemünde.

Setzt man voraus, dafs jede Fluthwelle im offenen Meere, und so lange sie dieselbe Richtung verfolgt, sich mit constanter Geschwindigkeit bewegt, so müfsten die Zeiten des Hochwassers den Längen der Wege entsprechen. Ich versuche hiernach, aus den beobachteten Zeiten deren wahrscheinlichste Werthe, und zugleich die Geschwindigkeiten der verschiedenen Fluthwellen zu berechnen. Indem alle Wellen, welche die Preufsischen Beobachtungs-Stationen treffen, zwischen Rügen und der Schwedischen Küste hindurchgehn müssen, so habe ich die Länge der verschiedenen Wege von dem Meridiane von Arcona ab gemessen. Neufahrwasser mufste hierbei aus dem bereits angegebenen Grunde ganz unberücksichtigt bleiben. Bei der überwiegend grofsen Anzahl von Beobachtungen, die in Swinemünde und Memel angestellt sind, mufste aber den für diese Orte gefundenen Zeiten ein viel gröfseres Gewicht, als den übrigen, beigelegt werden. Ich gab ihnen das dreifache Gewicht.

Hieraus ergeben sich folgende Geschwindigkeiten der Fluthwellen:

1) bei Springfluthen 28,3 Deutsche Meilen in der Stunde mit dem wahrscheinlichen Fehler von 4,9 Meilen,

2) bei mittleren Fluthen 21,7 Meilen mit dem wahrscheinlichen Fehler von 5,6 Meilen und

3) bei todten Fluthen 14,1 Meilen mit dem wahrscheinlichen Fehler von 7,2 Meilen.

Die Unsicherheit der Bestimmung wird sonach um so gröfser, je schwächer die Welle ist. Dieses ist auch sehr erklärlich, weil die Winde alsdann einen viel stärkeren Einflufs darauf ausüben.

Unter Voraussetzung dieser Geschwindigkeiten liefsen sich auch die wahrscheinlichsten Werthe für T berechnen: die nachstehende Tabelle giebt an, um wieviel Stunden und Minuten das Hochwasser früher oder später eintritt, als der Mond durch den Meridian des betreffenden Ortes geht.

	bei Springfluthen.	bei mittl. Fluthen.	bei todten Fluthen.
Thiessow . . .	1 St. 53 Min. früher.	1 St. 48 Min. früher.	0 St. 12 Min. früher.
Swinemünde . .	1 - 35 - -	1 - 25 - -	0 - 20 - später.
West-Dievenow .	1 - 31 - -	1 - 20 - -	0 - 26 - -
Colbergermünde .	1 - 17 - -	1 - 4 - -	0 - 52 - -
Rügenwaldermünde	1 - 1 - -	0 - 43 - -	1 - 21 - -
Stolpmünde . .	0 - 51 - -	0 - 30 - -	1 - 40 - -
Pillau	0 - 13 - später.	0 - 56 - später.	3 - 46 - -
Memel	0 - 50 - -	1 - 37 - -	4 - 46 - -

Aus der Vergleichung mit den obigen Zeiten ergeben sich die wahrscheinlichen Fehler dieser Resultate:

für Springfluthen 32 Minuten,
für mittlere Fluthen 44 Minuten,
für todte Fluthen 49 Minuten.

Eine besondere Betrachtung verdient die Verschiedenheit der Zeiten, in welchen vergleichungsweise zur Culmination des Mondes die Springfluthen und die todten Fluthen eintreten. Im Atlantischen Ocean, so wie auch in der Nordsee findet ein Unterschied in der Geschwindigkeit der verschiedenen Fluthwellen nicht statt. Sie werden zwar durch starke Winde beschleunigt, oder zurückgehalten, doch sind diese Abweichungen ohne Vergleich viel geringer, als diejenigen, welche sich aus der obigen Zusammenstellung ergeben und für Memel sogar nahe 4 Stunden betragen.

Aus den Englischen und Französischen Fluthtabellen, die nach vieljährigen Beobachtungen für eine grofse Anzahl Häfen zusammengestellt sind, ergiebt sich, dafs die Welle der todten Fluth von einem dieser Häfen bis zum andern, so lange sie im offenen Meere bleibt, eben so schnell läuft, als die der Springfluth. Ich stellte namentlich die Vergleichung zwischen Brest und Sunderland an, wozwischen der Weg, der sich um den Norden von Schottland herumzieht, über 300 Deutsche Meilen lang ist. Es ergab sich dabei aber gar keine Abweichung in der Differenz der Fluthzeiten bei verschiedenen Mondphasen. Die allgemein übliche Methode, die Zeit des Hochwassers für die Zwischenorte dadurch zu bestimmen, dafs eine gewisse Anzahl von Minuten zu den Hafenzeiten der Hauptorte hinzugefügt oder davon abgezogen wird, würde auch unrichtige Resultate geben, wenn die Fluthwelle bald schneller und bald langsamer sich bewegen sollte. Die in der Ostsee eintretende Erschei-

nung ist daher eigenthümlich und läfst sich nur durch die überaus geringe Höhe der Fluthwelle erklären, deren Bewegung um so leichter verzögert wird, je weniger sie ausgebildet ist.

In den untern Stromtheilen, in welche noch hohe Fluthen eintreten, hat man indessen das langsamere Fortschreiten der Welle der todten Fluth schon vielfach bemerkt. Scott Russel spricht von dieser Verzögerung als von einer bekannten Thatsache. Auch die Vergleichung der in Hamburg und Cuxhaven angestellten Beobachtungen ergiebt, dafs die Springfluth diesen 14 Meilen langen Weg durchschnittlich in 4 Stunden 32 Minuten zurücklegt, während die todte Fluth dazu 4 Stunden 58 Minuten gebraucht. Die Erscheinung ist zwar in sofern eine andre, als der entgegen tretende Ebbestrom in beiden Fällen aufgehoben und zurückgedrängt werden mufs, was der höheren Welle der Springfluth leichter gelingt, als der der todten Fluth. Nichts desto weniger ist eine gewisse Analogie doch nicht zu verkennen.

Die Beobachtungen von Travemünde, welche, wie bereits erwähnt, einen recht merklichen Fluthwechsel zeigen, boten noch die sehr erwünschte Gelegenheit, zu untersuchen, welche Fluth die höchste oder welche die eigentliche Springfluth ist. Durchschnittlich zeigte sich bei der vierten Fluth nach Voll- und Neumond die gröfste Differenz zwischen Hoch- und Niedrigwasser. Diese betrug meist 9 bis 10 Zoll. Man darf hieraus schliefsen, dafs die Fluthwelle etwa 12 Stunden gebraucht, um den sehr unregelmäfsigen und vielfach gekrümmten Weg durch das Cattegat und den Grofsen Belt zurückzulegen.

Schliefslich ist in Betreff der Fluth und Ebbe in der Ostsee noch zu erwähnen, dafs dadurch in ähnlicher Weise wie an den grofsen Meeren hin und wieder auch abwechselnde Strömungen veranlafst werden. Sehr auffallend sind dieselben bei Travemünde, wo bei ruhiger Witterung der Strom während vier und zwanzig Stunden zweimal ein- und zweimal auszugehn pflegt. In den Preufsischen Häfen stellt sich diese Erscheinung nirgend deutlich dar, obwohl die wechselnden Strömungen allerdings auch zum Theil durch die Fluth bedingt zu sein scheinen. Nur bei Thiessow, wo der Fluthwechsel besonders grofs ist, geht nach den daselbst gemachten Beobachtungen zur Zeit der Springfluthen der Strom in den Greifswalder Bodden ein und aus, je nachdem Fluth oder Ebbe statt findet.

Es ergiebt sich hieraus, dafs ohnerachtet der sehr beschränkten Maafse, welche die Erscheinung in der Ostsee annimmt, dennoch die Schiffahrt unter Umständen, und namentlich bei sehr ruhiger Witterung vielleicht einigen Nutzen davon ziehn könnte.

§. 8.

Fluth und Ebbe in den Strom-Mündungen.

In den Mündungen grofser Ströme, durch welche bedeutende Wassermassen aus dem Binnenlande abgeführt werden, gestalten sich die Erscheinungen der Fluth oft so eigenthümlich, dafs sie schon aus diesem Grunde nicht mit Stillschweigen übergangen werden dürfen. Sie gewinnen aber um so mehr Bedeutung, als sie auf die Schiffahrt überwiegenden Einflufs haben. Die meisten Seehäfen liegen an Strom-Mündungen, weil die aus- und eintretenden Wassermassen hier schon von selbst tiefere Rillen zu bilden pflegen, welche oft sogar natürliche Häfen sind. Aufserdem mufs jeder Seehafen, wenn er nicht etwa nur Nothhafen ist, mit dem Binnenlande durch bequeme Wasserstrafsen in Verbindung stehn, und hierzu eignen sich vorzugsweise diese Ströme. Die Seehäfen befinden sich aber keineswegs immer nahe an der See, vielmehr ist es ein grofser Gewinn, wenn die Seeschiffe noch weit aufwärts den Strom befahren und in bedeutender Entfernung Handelsplätze erreichen können, welchen auf diese Weise die Gelegenheit geboten wird, sich unmittelbar an dem Seehandel zu betheiligen.

Dafs die Fluth und Ebbe den wesentlichsten Einflufs auf die Strömung in den untern Stromstrecken ausüben mufs, ist an sich klar. Im Allgemeinen ist ihre Einwirkung auch höchst vortheilhaft, weil sie Veranlassung giebt, dafs hier viel gröfsere Tiefen sich ausbilden und dauernd erhalten, als in den Mündungen andrer Ströme von gleichem Entwässerungs-Gebiete, die sich aber in Meere ergiefsen, welche keinen merklichen Fluthwechsel zeigen. Im letzten Falle führt der Strom sehr gleichmäfsig die Wassermasse ab, welche ihm aus dem Binnenlande durch Nebenflüsse und Bäche zugeführt wird, und wenn sein Profil in der Mündung sich stark erweitert, so ist die Strömung zu schwach, um dasselbe dauernd in gehöriger Tiefe offen zu erhalten, dasselbe wird vielmehr, wie vor

der Weichsel, der Rhone und andern sich selbst überlassenen Strömen wirklich geschehn ist, so stark mit Sand und sonstigen Niederschlägen angefüllt, dafs nur Fischerböte daselbst noch hindurch fahren können.

Ganz anders verhält es sich dagegen, wenn eine kräftige Fluth periodisch dem Strome entgegen tritt. Sie unterbricht diesen nicht nur vollständig und verhindert daher in kurzen Zwischenzeiten den Abfluſs des Binnenwassers, sondern sie ergieſst sich sogar in das Strombette und füllt dieses mehrere Meilen weit aufwärts in entsprechender Höhe an. Wenn demnächst Ebbe eintritt, so mufs während der beschränkten Dauer derselben nicht nur das gesammte Binnenwasser, das während einer Fluthperiode von oben her hinzugeflossen ist, abgeführt werden, sondern mit diesem vereinigt sich noch die ganze von der Fluthwelle hineingetriebene Masse, die oft viel gröſser ist als jene, und hierdurch entsteht eine viel stärkere Strömung, die weit kräftiger den Grund angreift und daher weit tiefere Rinnen erzeugt, als der Strom an sich bilden konnte. Die Wirkung verstärkt sich aufserdem noch wesentlich durch das Gefälle, welches der Fluthwechsel im Meere veranlafst. In dieser Beziehung giebt sich wieder ein sehr auffallender Unterschied zwischen den beiden Arten der Strom-Mündungen zu erkennen, insofern in den ersten das Gefälle beinahe ganz zu verschwinden pflegt, und die Geschwindigkeit deshalb überaus geringe bleibt.

Hierbei mufs zugleich auf den Umstand aufmerksam gemacht werden, dafs die Wassermenge, welche der Strom, der keinem Fluthwechsel unterworfen ist, dem Meere zuführt, allein durch die Ergiebigkeit der Quellen seines Gebietes bedingt wird, und daher in keiner Weise vergröfsert werden kann. Der Zufluſs von der Seeseite, den die Fluthwelle veranlafst, ist dagegen an sich unbegrenzt, und es kommt nur darauf an, dafs recht weite Thäler oder Niederungen zur Seite des Stromes geöffnet bleiben, die sich bei jeder Fluth anfüllen und wieder entleeren, um grofse Wassermassen in Wirksamkeit treten zu lassen, die sowol bei der Fluth, als auch vorzugsweise bei der Ebbe den Schlauch durchströmen und dessen Tiefe erhalten. Hiermit hängt die Erfahrung zusammen, die man an manchen Häfen, namentlich an der Französischen Seite des Canales gemacht hat, dafs dieselben im vorigen Jahrhundert hinreichend tief waren, um allen Schiffen einen bequemen Zugang zu

bieten, während sie später so flach wurden, dafs nur noch zur Zeit des Hochwassers kleinere Schiffe einlaufen konnten. Die Ursache dieser ungünstigen Veränderung liegt aber, wie leicht zu erkennen war, in den Eindeichungen, die man im Binnenlande ausgeführt hat. In gleichem Maafse, wie die Flächen sich verminderten, welche bisher jedes Fluthwasser aufnahmen, verminderte sich auch die durch den Hafen ein- und ausströmende Wassermasse, und diese genügte bald nicht mehr, das frühere Profil offen zu erhalten.

Das Eintreten einer kräftigen Fluth in die Mündung und die unteren Strecken des Stromes gewährt der Schiffahrt noch einen andern wesentlichen Vortheil, der namentlich in früherer Zeit von grofser Bedeutung war, ehe die Dampfschiffahrt sich so allgemein, wie gegenwärtig ausgebildet hatte. Das Seeschiff kann nämlich eben so, wie das Flufsschiff, zwar einer mäfsigen Strömung entgegen gezogen werden, bei seiner grofsen Masse und seinem breiten und tiefen Profile erfordert es aber eine sehr starke Bespannung und ist dennoch nur langsam zu bewegen. Diese Art der Beförderung ist daher so zeitraubend und kostbar, dafs man davon nur selten Gebrauch macht, und lieber einen günstigen Wind abwartet, bei dem es aufsegeln kann. Die Schwierigkeit verschwindet indessen in denjenigen Stromstrecken, welche einem starken Fluthwechsel unterworfen sind. Hier fliefst zweimal am Tage das Wasser aufwärts und zweimal abwärts. Man darf daher nur der Strömung folgen, die sich von selbst darstellt, sie führt das Schiff beinahe eben so schnell herauf, wie herab und die Segel dienen bei weniger günstigen, und selbst bei entgegenstehenden Winden, nur um das Schiff im Fahrwasser zu erhalten.

Diese abwechselnd in entgegengesetzter Richtung eintretende Strömung veranlafst vielfach auch sehr grofse Uebelstände. Die Ufer, die in solchem Falle meist aus aufgeschwemmtem Boden bestehn, werden durch sie in der verheerendsten Weise angegriffen, und ihre Sicherung ist um so schwieriger, als das salzige Wasser das Weidenstrauch nicht aufkommen läfst. Eine zweite Ursache der Verwilderung des Strombettes liegt noch darin, dafs der Fluthstrom oft einen andern Schlauch verfolgt, als der Ebbestrom. Diese Schläuche ändern periodisch ihre Lage, und weite Ablagerungen entstehen immer von Neuem, die sich oft zu Inseln ausbilden, und diese werden demnächst wieder eben so, wie die Ufer selbst ange-

griffen. Diese Stromstrecken zeigen oft ein Bild der Verwilderung, das kaum in den weiter aufwärts belegenen Theilen desselben Stromes seines Gleichen hat. Untiefen im Fahrwasser, Spaltungen desselben und scharfe Krümmungen verhindern hier oft den Schiffahrtsbetrieb fast ganz, während die Kräfte, welche das Bette regelmäfsig ausbilden könnten, von der Natur überreichlich geboten sind. Soweit noch grofse Wassermassen das Bette durchströmen, also in der Nähe der Mündungen, pflegt die Schiffahrt weniger zu leiden, weiter aufwärts dagegen, wo der Fluthwechsel nur noch wenige Fufse mifst, werden in einem sich selbst überlassenen Strome die Schiffahrtshindernisse oft unübersteiglich, und es zeigen sich hier so flache Stellen, wie solche weiterhin, wo die Fluth ganz aufgehört hat, nicht vorkommen.

So war bis vor 10 Jahren die Weser oberhalb Vegesack, an den sogenannten Kalkhören, wo der Fluthwechsel schon sehr geringe ist, in dem weit verbreiteten Bette übermäfsig verflacht, und der Uebergang der Dampfboote und Lichterfahrzeuge war hier überaus schwierig. Es kam sogar oft vor, dafs selbst zur Zeit des Hochwassers die Fahrzeuge nicht darüber fortkommen konnten und mehrere Tage lang hier liegen oder gelichtet werden mufsten. Indem die Verhältnisse in vielfacher Beziehung denen an der Clyde ähnlich waren, so empfahl ich dieselben Mittel der Strom-Correction, die man dort mit überraschendem Erfolge zur Anwendung gebracht hatte. *) Es kam nur darauf an, dem Fluthstrome ein recht gerades, hinreichend weites und tiefes Bette anzuweisen, damit derselbe möglichst ungeschwächt sich weiter aufwärts fortsetzen und eine gröfsere Wassermasse herauftreiben konnte. In den beiden kleinen Nebenflüssen der Weser, nämlich der Lessum oder Wümme und der Ochtum, von denen der erstere etwas unterhalb, der andere aber oberhalb dieser Stelle eintreten, setzt sich die Fluth bis oberhalb Bremen fort, während in der Weser selbst, bei Bremen nur in den seltensten Fällen ein sehr geringer Fluthwechsel zu bemerken war. Der Grund, weshalb dort die Fluth weiter herauftrat, lag ohne Zweifel in der Reinheit des Wassers, das nur in den Niederungen sich sammelt, während die Weser sehr vielen Sand mit sich führt, der ihr Bette soweit füllt, als die Strömung dieses gestattet. Es mufste demnach die Strömung durch

*) Im zweiten Theile dieses Handbuches § 90 ist hiervon die Rede gewesen.

Beförderung der Fluthwelle verstärkt werden, und hierzu bot sich ein sehr einfaches Mittel dar, indem die starke Krümmung dieser Stromstrecke vermieden werden konnte, sobald man die sogenannte Niederbührener-Weser wieder öffnete, die im vorigen Jahrhundert geschlossen war. Hierdurch wurde der Strom wesentlich gerade geführt und abgekürzt, auch jene verwilderte Stelle ganz umgangen und noch der grofse Vortheil erreicht, dafs das neue Strombette vollständig im Gebiete der Stadt Bremen lag. Es gelang mir, diese Auffassung zur Geltung zu bringen, und 1852 wurde der alte verlafsne Arm wieder eröffnet. Seine Ausbildung erforderte freilich grofse Opfer und die Strömung hat noch wenig zu seiner Vertiefung beigetragen, da der Abschlufs des bisherigen Stromlaufes weder ganz noch theilweise gestattet wurde, und sonach auch gegenwärtig noch grofse Wassermassen ihren Weg durch denselben verfolgen. Nichts desto weniger haben Sand-Ablagerungen im neuen Arme nicht statt gefunden. Die durch Baggern dargestellte Tiefe erhält sich vollständig und alle Fahrzeuge gehn seit Jahren schon unbehindert hier hindurch. Aufserdem sind, namentlich in der obern Mündung des alten Armes, bereits starke Verlandungen eingetreten, und was der wichtigste Erfolg dieser Anlage ist, die Fluthwelle läuft nunmehr auf dem neuen Wege viel kräftiger herauf, so dafs bei Bremen mit Ausnahme der Zeiten einer starken Anschwellung, der Fluthwechsel täglich sich zeigt und bei kleinem Wasser 2 Fufs beträgt. Eine weitere Verbesserung der Verhältnisse steht in sicherer Aussicht, sobald der neue Arm vollständig ausgebildet und der alte endlich durch natürliche Verlandung geschlossen sein wird.

Viel gröfsere Erfolge darf man aber für diese Stromstrecke noch später erwarten, wenn einst die ganz verwilderte und durch mehrere Inseln gespaltene Strecke zwischen Warfleth und Rönnebeck unterhalb der Grenze des Bremer Gebietes verbessert sein wird. Alsdann wird ohne Zweifel der Fluthwechsel bei Vegesack sich wesentlich vergröfsern, und hierdurch wieder weiter aufwärts der Fluthstrom verstärkt werden.

Nach dieser allgemeinen Darstellung der Wichtigkeit, welche die Fluth für die untern Stromstrecken hat, sind die eigenthümlichen Erscheinungen zu bezeichnen, die aus dem Zusammentreffen der beiden verschiedenen Strömungen entspringen. Wenn der Fluthstrom in der Mündung selbst auch sehr kräftig ist, so vermindert

er sich doch weiter aufwärts, und man kommt endlich an eine Stelle, wo er ganz aufhört, und beim Steigen des Wassers dasselbe weder vor, noch zurückfliefst, also seine Bewegung durch das Zusammentreffen beider Strömungen ganz vernichtet wird. Oberhalb dieser Stelle wird der Ebbestrom oder die Bewegung in derjenigen Richtung, welche der obere Stromlauf verfolgt, gar nicht mehr unterbrochen. Die Geschwindigkeit vermindert sich zwar auch hier, sobald das Unterwasser in Folge der Fluth sich erhebt, und man kann an diesen Stellen noch einen Fluthwechsel von mehreren Zollen bemerken, aber ein Fluthstrom findet hier nicht mehr statt.

Mit dieser veränderten Stärke der Strömung steht auch die ungleiche Dauer der Fluth und Ebbe in naher Beziehung. Hierauf ist schon früher aufmerksam gemacht worden, aber es verdient besondere Erwähnung, dafs die Dauer der Fluth oder des Steigens des Wasserspiegels, sich immer mehr vermindert, je weiter man den Strom heraufgeht. An der Mündung hält die Fluth etwa 6 Stunden an, weiter aufwärts wird sie geringer und beschränkt sich zuletzt etwa auf 2 Stunden. Wenn sie noch kürzer wird, so giebt sie sich überhaupt nicht mehr zu erkennen. Hieraus folgt, dafs der vordere Schenkel in der Scale der Fluthwelle viel steiler sein mufs, als der hintere. Beim plötzlichen Andringen der Fluth, und indem diese in ihrer vollen Kraft das entgegenströmende Wasser aufhält, erfolgt ein schnelles Steigen, das jedoch von dem nach und nach sich ansammelnden Oberwasser bald wieder gemäfsigt, und ganz unterbrochen wird. Der Ebbestrom führt dagegen nicht allein das eingedrungene Fluthwasser, sondern auch das Wasser aus dem Binnenlande ab, und wird durch letzteres nachhaltig gespeist.

Hieraus ergiebt sich unmittelbar, dafs die Fluth in den Strömen um so mehr geschwächt werden mufs, je gröfser die Wassermasse ist, welche diese abführen. Dieses bestätigt sich auch ganz allgemein, denn zur Zeit der Anschwellungen der Ströme dringt die Fluth nicht soweit aufwärts, als bei kleinem Wasser, und gerade während der allerniedrigsten Wasserstände giebt der Fluthwechsel sich noch an Punkten zu erkennen, wo man solchen sonst nicht wahrnimmt.

Der Einfluſs der Fluth auf die untern Stromtheile und die Aenderungen, die hierdurch im Wasserstande an verschiedenen Punkten, so wie im Gefälle, veranlafst werden, ergeben sich am deutlichsten

aus dem Längenprofile, wenn darin der Wasserspiegel eingetragen wird, wie er durch gleichzeitige Pegel-Beobachtungen an verschiedenen Orten gemessen ist. Zusammenstellungen dieser Art sind für mehrere Ströme in England und Schottland gemacht worden, besonders interessant ist aber das von Minard*) mitgetheilte Längenprofil der 3 Deutsche Meilen langen Strecke der untern Somme von Abbeville bis Le Crotoy, Saint-Valery gegenüber. Fig. 24 stellt dieses Profil mit den verschiedenen Linien der an fünf Pegeln gleichzeitig beobachteten Wasserstände dar: die Beobachtungszeiten sind in der Figur neben den Linien angegeben.

Die untere Linie, welche zwischen Noyelle nur etwa 6 Zoll von dem Flufsbette entfernt ist, bezeichnet den Wasserstand kurz vor dem Eintritt der Fluth. Letztere bemerkt man an der rechten Seite der Figur zuerst in der mit 9 Uhr 50 Minuten bezeichneten Linie. Die zweite Fluthlinie um 10 Uhr 25 Minuten gemessen, erhebt sich schon bedeutend und erstreckt sich weiter stromaufwärts. Die dritte, von 11 Uhr 17 Minuten erreicht bereits Noyelle, die fünfte von 12 Uhr 20 Minnten erstreckt sich bis Grand-Port und die sechste, welche bei Le Crotoy schon das Hochwasser bezeichnet, ist nahe bis Lavier vorgedrungen. Die folgenden beiden Linien von 1 Uhr 24 Minuten und 1 Uhr 34 Minuten ergeben in Le Crotoy bereits ein merkliches Ebben, während die Fluthwelle noch weiter stromaufwärts vordringt, und in diesen Zeiten bei Noyelle und Grand-Port das Hochwasser darstellt. In Lavier und Abbeville wurde das Hochwasser nach den beiden folgenden Linien erst um 2 Uhr 7′ und 2 Uhr 28′ beobachtet, während bei Le Crotoy das Wasser bereits 6 Fufs oder nahe um den dritten Theil des ganzen Fluthwechsels gefallen war. Die letzte Linie, um 4 Uhr 20′ gemessen, zeigt, dafs in der ganzen Stromstrecke bereits Ebbe eingetreten, und das Gefälle überall nach der See gekehrt ist.

Dieses Profil läfst auch auf die Dauer der Fluth und Ebbe und die Gröfse des Fluthwechsels an den verschiedenen Punkten ungefähr schliefsen. Hierzu eignen sich aber ohne Zweifel viel besser vollständige Beobachtungsreihen über den Vorübergang einer Fluthwelle an einzelnen Punkten, wie Fig. 21 eine solche für Hamburg zeigt.

*) Cours de construction des ouvrages hydrauliques des Ports de Mer. Paris 1846.

Der verstorbene Deichgräf Nienburg in Oldenburg hat über die Fluthverhältnisse der untern Weser sehr sorgfältige und ausführliche Untersuchungen angestellt, deren Hauptresultate die folgenden sind.*) Die ganze Stromstrecke innerhalb des Grofsherzogthums Oldenburg von oberhalb der Mündung der Ochtum (die damals noch unmittelbar in den Hauptstrom der Weser sich ergofs) bis zur See, ist dem Fluthwechsel unterworfen, doch ist dieser in der Nähe der obern Grenze schon sehr mäfsig, woher gemeinhin die Fluth nicht weit über diese Grenze hinaus bemerkt wurde.

Behufs der Feststellung der Deichhöhen wurden ein ganzes Jahr hindurch an verschiedenen Punkten die höchsten und kleinsten Wasserstände bei jedem Fluthwechsel beobachtet, und aus je 705 bis 707 zusammengehörigen Beobachtungen (nämlich aus allen Hoch- oder Niedrig-Wasserständen in dem ganzen Jahre) wurden die arithmetischen Mittel genommen. Hieraus ergab sich die Höhe des Fluthwechsels an den verschiedenen Punkten in folgender Gröfse und zwar in Rheinländischem Fufsmaafse:

1.	Vor dem Fedderwarder Siel zwischen der Weser und Jade	11′ 1″
2.	Vor der Mündung der Geeste	10′ 11″
3.	Vor Dedesdorf	10′ 7″
4.	Vor Brake	9′ 11″
5.	Vor dem Oldenbrooker Siel bei Käseburg	9′ 8″
6.	Vor Elsfleth	8′ 6″
7.	Reckum gegenüber	7′ 10″
8.	Vor Warfleth	6′ 4″
9.	Vor Lemwerder, Vegesack gegenüber	4′ 3″
10.	An der Mündung der Ochtum	3′ 6″

Die letzte Angabe ist weniger genau, weil sie vorzugsweise auf einzelnen besonders hohen Fluthen beruht. Es ergiebt sich aber aus dieser Tabelle, dafs in der mehr als 6 Meilen langen Strecke von der See bis gegen Elsfleth die Fluthhöhe nur $2\frac{1}{2}$ Fufs abnimmt. In der folgenden Strecke bis Lemwerder, die noch nicht 2 Meilen lang ist, vermindert sie sich dagegen um mehr, als 4 Fufs. Der Grund dieser starken Abnahme ist ohne Zweifel in der geringen

*) Dieselben wurden mir vom Verfasser zur Benutzung in diesem Handbuche mitgetheilt.

Tiefe, so wie in den mehrfachen Spaltungen und der übermäfsigen Verwilderung dieses Theils des Stromes zu suchen.

An derselbeu Stelle, wo die starke Verminderung des Fluthwechsels beginnt, liegt auch die Grenze, bis zu welcher die starken Anschwellungen der Ober-Weser noch auf den Wasserstand Einfluſs haben. In Brake giebt sich dieser Einfluſs beinahe gar nicht zu erkennen, auch am Oldenbrooker Siel ist er noch sehr unbedeutend, weiter aufwärts bemerkt man aber, daſs bei Anschwellungen der Ober-Weser eben sowohl das Hochwasser, wie auch das niedrige Wasser beim Wechseln der Fluth und Ebbe eine gröſsere Höhe am Pegel erreicht, als sonst, und zwar steigt das Hochwasser weniger, als das niedrige. Wenn letzteres sich noch $1\frac{1}{2}$ Fuſs über seiner gewöhnlichen Höhe erhält, so sinkt jenes schon auf den ordinären Stand der Fluth zurück.

Das Hochwasser liegt nicht an allen Beobachtungspunkten in demselben Horizonte, vielmehr erhebt es sich stromaufwärts zu einer gröſseren Höhe, oder wenn man die mittleren Stände des Hochwassers in das Längen-Profil einträgt, so stellen sie eine Linie dar, welche nach der Seeseite abfällt. Legt man durch das mittlere Hochwasser am Fedderwarder Siele eine Horizontal-Ebene, so befinden sich die mittleren Hochwasserstände der übrigen Punkte über demselben. Der Höhenunterschied gegen diesen Horizont beträgt:

bei Nordenhamm	4″
am Golzwarder Siel	8″
bei Brake	11″
bei Käseburg	1′ 2″
am Piependammer Siel . . .	1′ 5″
bei Warfleth	1′ 8″
bei Lemwerder	1′ 11″
an der Ochtum	2′ 2″

Was den Einfluſs des Windes auf den Wasserstand der untern Weser betrifft, so hat man bemerkt, daſs bei Sturmfluthen das Wasser sich mehrmals 10 bis 11 Fuſs über das Hochwasser der Fluthen nach dem dermaligen Stande des Mondes und der Sonne erhoben hat. Im Februar 1825 überstieg es dieses sogar um 12 Fuſs. Diese Höhe bezieht sich aber nur auf den mittleren Wasserspiegel, die einzelnen Wellen erreichten viel gröſsere Höhen.

Ueber den Eintritt des Hochwassers an den verschiedenen Punkten zur Zeit der Voll- und Neumonde, also über die Hafenzeiten, sowie auch über die Dauer der Fluth und Ebbe, oder über das Steigen und Fallen des Wassers, wurden gleichfalls Beobachtungen angestellt, deren mittlere Resultate die nachstehende Tabelle nachweist.

Beobachtungs-Orte	Hafenzeit		Dauer der Fluth		Ebbe	
	Stunden	Minuten	Stunden	Minuten	Stunden	Minuten
Vor dem Fedderwarder Siel in der Weser	12	10	6	12	6	12
am Flagbalger Siel	12	50	5	20	7	5
am Esenshammer Siel	1	20	5	10	7	15
am Strohhauser Siel	1	35	5	0	7	25
vor Brake	2	15	4	45	7	40
am Oldenbrooker Siel	2	35	4	40	7	45
am Elsflether Siel	2	50	4	5	8	20
vor Elsfleth	3	0	4	0	8	25
vor Lemwerder	3	50	3	40	8	45

Es ergiebt sich hieraus wieder, dafs die Fluthen weiter stromaufwärts nicht nur später eintreten, sondern ihre Dauer sich auch bedeutend verkürzt und dagegen die Ebben, oder die Zeiten, in welchen der Wasserstand sich senkt, immer länger werden.

Zum bessern Verständnifs dieser Tabellen füge ich noch die Nachweisung der Entfernungen für alle benannte Punkte bei, und zwar sind dieselben vom Fedderwarder Siele ab gemessen.

Mündung der Geeste	2,0	Meilen
Flagbalger Siel	2,8	-
Dedesdorf	3,5	-
Esenshammer Siel	3,6	-
Golzwarder Siel	4,8	-
Brake	5,3	-
Oldenbrooker Siel bei Käseburg	5,9	-
Elsflether Siel	6,5	-
Elsfleth	6,7	-
Piependammer Siel	7,0	-
Reckum	7,0	-

Warfleth	7,6 Meilen
Lemwerder	8,3 -
Mündung der Ochtum	9,0 -

Am Flagbalger Siel wurden endlich noch die Geschwindigkeiten des Fluth- und des Ebbe-Stromes gemessen, und es ergab sich, dafs der erstere, wenn er seine gröfste Stärcke erreichte, etwas bedeutender war, als der letztere. Dieser nahm nämlich im Maximum nur die Geschwindigkeit von 3 Fufs 2 Zoll an, während jener die Geschwindigkeit von 3 Fufs 7 Zoll erreichte. Die Zeiten des höchsten und niedrigsten Wassers fielen aber keineswegs mit dem Wechsel der Strömung zusammen. Beim Eintritt des kleinsten Wassers hatte der Ebbestrom vor diesem Siele noch die grofse Geschwindigkeit von 2 Fufs 7 Zoll, und er hörte erst auf, nachdem das Wasser schon 1 Fufs 6 Zoll wieder gestiegen war.

Indem, wie bereits oben erwähnt, der Fluthstrom, so wie auch der Ebbestrom um so stärker wird, und daher um so kräftiger auf die Vertiefung des Fahrwassers wirkt, je gröfser die Ausdehnung der weiter aufwärts belegenen Flächen ist, die bei den Fluthen mit Wasser gefüllt werden, so dürfen hier die Eindeichungen nicht zu weit getrieben werden, und namentlich müssen alte Flufsarme und sonstige Schlenken offen bleiben. Da jedoch bei Durchführung der Deiche, also beim wasserfreien Verschlufs dieser Flächen, die darin liegenden Ländereien vortheilhafter benutzt werden können, so pflegen Anträge dieser Art oft gestellt zu werden, und man mufs alsdann sorgfältig prüfen, ob die Schiffahrt dabei nicht wesentlich bedroht wird. Andrerseits tritt der durchgreifenden Regulirung der untern Stromstrecken noch zuweilen das Vorurtheil entgegen, dafs man bei der weitern Ausdehnung und gröfseren Höhe der Fluthwelle, die hierdurch veranlafst wird, auch gröfsere Anschwellungen des Wasserstandes herbeizuführen glaubt. Diese Furcht ist aber in sofern ganz unbegründet, als die Welle sich vorzugsweise dadurch bildet, dafs beim Sinken des Spiegels der See das Wasser aus den betreffenden Stromstrecken in dem erweiterten und vertieften Bette leichteren Abfluſs findet, als früher. Es tritt also wirklich das Gegentheil ein, und die Entwässerung der Niederungen wird hierdurch wesentlich befördert. Die vorstehenden Mittheilungen über die mittleren Fluthhöhen der Weser ergeben auch, dafs

die absolute Höhe des Hochwassers stromaufwärts immer mehr ansteigt. Das Hochwasser an irgend einem Punkte kann daher nicht sowol von der Fluthwelle herrühren, die in die Mündung des Stromes einläuft, als von dem Binnenwasser, welches der Strom abführt. Sollte erstere die Anschwellung veranlassen, so könnte die Höhe der Welle nicht zunehmen, sie müfste vielmehr, von einzelnen scharfen Verengungen des Bettes abgesehn, nach und nach abnehmen. Es leuchtet auch an sich ein, dafs eine hohe Untiefe oder eine sonstige Unregelmäfsigkeit im Strombette, welche das weitere Auflaufen der Fluthwelle verhindert, nicht sowol das Uebertreten des Hochwassers hemmt, das von der Seeseite anläuft, als vielmehr den Abfluſs zur Zeit der Ebbe. Nach Beseitigung dieser Untiefe bildet sich also die viel stärkere Fluthwelle weiter aufwärts allein dadurch aus, dafs ihr unterer Scheitel tiefer herabsinkt. Berücksichtigt man hierbei noch, dafs während des Eisganges an jener Stelle leicht Stopfungen oder Versetzungen eintreten können, die den Abfluſs noch mehr hindern und möglicher Weise auf längere Zeit vollständig sperren, so folgt, dafs man auch in den untern Stromstrecken, in welchen Fluth und Ebbe statt findet, eben so wie in den obern, für die Vorfluth nicht besser sorgen kann, als durch Geradlegung und Vertiefung des Strombettes.

Beim Eintritt der Fluth wie der Ebbe pflegt in den unteren Stromtheilen, sowie auch in Meeresbuchten, welche weite Mündungen haben, die Strömung nicht plötzlich ihre Richtung zu verändern und in die entgegengesetzte überzugehn. Namentlich in dem Falle, dafs die Buchten durch Insel-Reihen vom Meere getrennt sind, also vielfache Verbindungen mit dem letzteren haben, wie etwa die Süder-See, treten nach und nach Aenderungen der Strömung ein, so dafs die Richtung derselben die halbe Windrose langsam durchläuft, bis endlich der Ebbestrom sich entschieden ausbildet. Etwas Aehnliches, wenn auch viel weniger auffallend, zeigt sich häufig noch in Stromstrecken, die schon von der Mündung weit entfernt liegen. Dabei bemerkt man auch, dafs die flacheren und die tiefer gehenden Fahrzeuge nicht übereinstimmend von der Strömung getroffen werden, dafs also letztere in verschiedener Tiefe verschieden sein mufs. Die vor Anker liegenden Schiffe lassen dieses deutlich erkennen, indem die Strömung, von der sie getroffen werden, sie bei ruhiger Witterung immer vom Anker forttreibt, und sie um

letzteren, wie um einen Festpunkt schwingen, indem der vordere Bug diesem stets zugekehrt bleibt, also der Richtung des Stromes entgegen steht.

Mehrfach bemerkt man, dafs beim Beginne der Fluth das tief eintauchende grofse Schiff von der neuen Strömung früher gefafst wird und sich schon auf den Fluthstrom legt, während das daneben ankernde flache Fahrzeug noch die frühere entgegengesetzte Stellung behält. Man hat diese Erscheinung durch das verschiedene specifische Gewicht des Wassers beider Strömungen erklärt, und angenommen, dafs das schwerere Wasser, welches von der Seeseite herauftreibt, am Boden bleibt, während das süfse Binnenwasser oder der Ebbestrom in der Nähe der Oberfläche noch in entgegengesetzter Richtung darüber fortfliefst. Obwohl diese Erklärung in vielen Fällen zutreffen mag, so ist die Erscheinung doch keineswegs ganz allgemein, und sehr häufig bemerkt man eben sowol bei der Fluth als bei der Ebbe, dafs gerade die kleineren Fahrzeuge früher aufdrehn, als die tieferen. Nach den mir hierüber gemachten Mittheilungen verfolgen die Strömungen während des Umsetzens gemeinhin sehr verschiedene Wege. In der tiefen Stromrinne, wo die gröfsten Schiffe ankern, erhält sich beim Beginne der Fluth, wie bei dem der Ebbe, die frühere Strömung am längsten, während auf flacheren Stellen und in der Nähe der Ufer das Wasser schon der entgegengesetzten Richtung folgt. In weiten Strommündungen, wie vor Cuxhaven, hört die Strömung aber überhaupt nicht auf, indem sie nach kurzer Zeit alsdann in die entgegengesetzte übergeht, vielmehr ändert sie, wie in ausgedehnten Meeresbuchten nach und nach ihre Richtung und durchläuft alle Compas-Striche. Die bei Flagbalger Siel an der Weser gemachte Erfahrung, dafs die Umkehrung des Stromes viel später eintritt, als der Wasserstand sein Maximum oder Minimum erreicht, also derselbe bereits sehr merklich schon wieder gestiegen oder gesunken ist, wiederholt sich in allen Fällen.

Kraijenhoff war der Ansicht, dafs fortdauernd unter der vom Meere aus eintretenden Fluthwelle das Stromwasser über der Sohle des Bettes abfliefst, dafs also die Fluth sich nur auf die obern Wasserschichten beschränkt, und darunter ein ununterbrochener Ebbestrom statt findet. Diese Auffassung wurde durch keine Thatsachen unterstützt und sie erscheint um so gewagter, als doch gewifs nicht

anzunehmen ist, dafs das specifisch leichtere Binnenwasser unter dem Seewasser oder dem braken Wasser seinen Weg fortsetzen sollte. Nichts desto weniger behielt diese Ansicht bei einzelnen Hydrotecten noch Geltung, bis sie durch directe Beobachtungen in neuster Zeit widerlegt ist. Der Ingenieur E. Olivier maafs zwischen Dortrecht und Zwijndrecht, so wie bei s'Gravendeel, wo schon sehr bedeutende Fluthwechsel eintreten, die Geschwindigkeiten in verschiedenen Tiefen bis zum Grunde und zwar eben sowol bei der Fluth, als bei der Ebbe, und es ergab sich, dafs sie jedesmal in allen Tiefen übereinstimmende Richtungen hatten, aber, wie auch sonst immer geschieht, in der Tiefe etwas geringer waren.*)

Vor der Mündung der Rhone hat man bemerkt, dafs die bei ruhiger Witterung sehr auffällige Küstenströmung, die sich westwärts, also nach Cette hinzieht, nur in der Oberfläche statt findet und nicht tiefer herabreicht, als das süfse Wasser der Rhone, dafs das Seewasser darunter aber an dieser Strömung nicht Theil nimmt.

Es mufs ferner der Aufschlickung gedacht werden, die in den untern Stromtheilen, wo starke Fluth und Ebbe statt findet, oft sehr bedeutend ist. Dieses ergiebt sich theils aus der starken Trübung des Wassers, und theils auch aus den Ablagerungen von Schlick, die oft in kurzer Zeit eine überraschende Höhe erreichen. Sie zeigen sich vorzugsweise an solchen Stellen, die von der starken Strömung nicht getroffen werden, und sind um so gröfser, je höher das Hochwasser sie überfluthet. Aus dem letzten Grunde ermäfsigt sich ihr ferneres Anwachsen mit ihrer zunehmenden Erhebung, und wenn sie endlich solche Höhe erreicht haben, dafs das Hochwasser nur noch wenig darüber tritt, so hört die weitere Ablagerung beinahe ganz auf. Um ein Beispiel solcher starken Aufschlickung mitzutheilen, mag erwähnt werden, wie ich einst darauf aufmerksam gemacht wurde, dafs eine Helling an der Geeste neben Bremerhaven, auf welche vor zwei Monaten ein Schiff aufgezogen worden, die also damals vollständig gereinigt sein mufste, in ihrem untern Theile wieder mit einer Schlickmasse von 6 Fufs Höhe überdeckt war.

Auf allen Strömen giebt es gewisse Stellen, wo diese Ablagerungen besonders stark sind. Für die Weser dürfte die Mündung

*) Over de Stroomsnelheid in den Waterafvoer der Rivieren. — Verhandelingen van het koninglijk Institut van Ingenieurs. 1858—1859. pag. 50.

der Geeste eine solche sein, für die Elbe ist es die Strecke zwischen Stade und Glückstadt. Das Wasser ist hier auffallend stärker getrübt, als sonst, und zugleich ist der Schlickfall hier bedeutender, als weiter aufwärts und abwärts. Hübbe hat diesen Gegenstand sehr eingehend untersucht.*) Die im Wasser schwebenden feinen erdigen Theilchen bewegen sich, so lange sie dem Fluthstrome noch nicht begegnen, dauernd stromabwärts. Sobald ihnen aber die Fluth entgegentritt, so werden sie anfangs nur wenig, aber später immer stärker zurückgetrieben, bis sie endlich an eine Stelle gelangen, wo sie bei der sehr weiten Oeffnung des Profiles in jeder vollen Fluth-Periode nur wenig vorrücken, und wo gleichzeitig in Folge früherer Ablagerungen oder wegen der Bodenbeschaffenheit auch der Fluthstrom in gleicher Weise, wie der Ebbestrom mit erdigen Theilchen gefüllt ist. Wenn in der Nähe der Mündung das Verhältnifs des Profiles zu der vom Binnenlande kommenden Wassermasse sich auch noch gröfser herausstellt, also die durchschnittliche, stromabwärts gerichtete, Geschwindigkeit derselben noch geringer wird, so tritt hier dennoch der wesentliche Unterschied ein, dafs der Fluthstrom reineres Wasser herbeiführt, und das trübe Wasser, das bei der Ebbe abfliefst, nicht mehr in der nächsten Fluth zurückkehrt. Dieses geschieht aber nur, wenn die gröfsere Meerestiefe in so geringer Entfernung vor der Strommündung liegt, dafs das austretende trübe Wasser in derselben Ebbe bis über diese Grenze hinaus geführt wird. Die schwebenden Theilchen können alsdann versinken und der beim Wellenschlage eintretende Rückstrom (§. 5) treibt den Schlick noch weiter in die See, so dafs er dem Angriffe des Fluthstromes weniger ausgesetzt ist. Wenn dagegen weit ausgedehnte Wattgründe seewärts noch davor liegen, wie etwa vor der Mündung der Jade, so wird die Erscheinung ganz anders, und das Wasser des Fluthstromes ist sogar stärker mit erdigen Theilchen geschwängert, als dafs des Ebbestromes. Es wird hierauf später (§. 11) zurückgekommen und der Beweis dafür durch directe Messungen gegeben werden.

Schliefslich sind noch die eigenthümlichen Erscheinungen zu erwähnen, die in manchen Strömen beim Eintritt der Fluthen

*) Ueber die Eigenschaften und das Verhalten des Schlicks. Zeitschrift für das Bauwesen. Jahrgang X. Seite 491 ff.

sich in der auffallendsten Weise bemerkbar machen. Die Fluthwelle ist ohnerachtet der grofsen Höhe, die sie stellenweise erreicht, dennoch im offenen Meere auf beiden Abhängen so sanft geneigt, dafs man die Abweichungen von der Horizontalen nicht unmittelbar wahrnehmen kann, diese vielmehr nur aus der Vergleichung gleichzeitiger Wasserstände in benachbarten Orten sich erkennen lassen. Bei ganz ruhiger Witterung, wenn der Wasserspiegel vollkommen eben ist, tritt im Beginne der Fluth, durch diese veranlafst, Wellenbewegung ein. Der Meeresspiegel nimmt also nicht in sanftem Uebergange eine andre Neigung an, vielmehr veranlafst die Fluthwelle, indem sie das Gleichgewicht stört, schon gewöhnliche Wellen, die ihre Annäherung bezeichnen. So sah ich einst an der Mündung der Tyne, bei South-Shields die ganz glatte Oberfläche der See plötzlich in wellenförmige Schwingungen versetzt. Es waren jedoch nicht die kurzen Wellen, welche der Wind verursacht, sondern es zeigten sich lang ausgezogene Erhebungen, wobei die Oberfläche ihre volle Glätte behielt, und nur in flach gekümmte Formen überging. An den weit vortretenden niedrigen Felsbänken fing das Meer gleichzeitig zu branden an, und nach wenigen Minuten konnte man schon das Steigen des Wassers wahrnehmen.

Bei Flufsmündungen, die nicht ausgedehnte Bänke vor sich haben, sondern unmittelbar in das offene und tiefe Meer treten, die also von der Fluthwelle in ihrer vollen Kraft und Geschwindigkeit getroffen werden, mufs die erwähnte Erscheinung offenbar viel auffallender sich zeigen, in sofern dabei der Ebbestrom des Flusses überwunden und zurückgedrängt wird. Dieses geschieht jedoch nicht plötzlich, sondern zwischen dem Ebbestrome und dem Fluthstrome bleibt ein Zwischenraum, in welchem das Wasser stille steht, und von beiden Seiten gepreſst wird. In Folge des Druckes schwillt es an. Diese Erhebung oder Welle kann sich aber nicht an demselben Orte erhalten, sondern wie die Fluth weiter stromaufwärts dringt, so läuft sie vor derselben, und bewegt sich oft mit grofser Geschwindigkeit. Man nennt diese Erscheinung in der Gironde, wo sie besonders auffallend war, aber gegenwärtig sich nur in geringerem Maafse noch zeigen soll, das Mascaret. Die erste Fluthwelle lief hier zur Zeit der Springfluthen mit solcher Geschwindigkeit ein, dafs kein Pferd ihr folgen konnte, und sie nahm stellenweise, besonders da, wo die gegenüber stehenden Ufer sich einander näherten, eine

bedeutende Höhe an, die nach den Beschreibungen die Gröfse eines Hauses erreichte. Sie überfluthete Alles, was ihr im Wege lag, und war daher für kleine offene Fahrzeuge besonders gefährlich.

Auch in der Charente und der Seine tritt dieselbe Erscheinung ein, woselbst man sie die Barre nennt, und wenn sie hier auch minder stark ist, so bleibt sie dennoch für die Fischerböte sehr gefährlich. Letztere werden, wenn man ihren Eintritt besorgt, sehr vorsichtig in die Richtung des Stromes gebracht, um nicht von der Seite getroffen zu werden. In der Seine läuft diese Welle bis gegen Rouen herauf, doch zeigt sie sich keineswegs bei allen höheren Fluthen, vielmehr bildet sie sich nur unter besonderen Witterungs-Verhältnissen vollständig aus. Auch an andern Küsten läuft die Fluth in gleicher Weise in die ihr entgegekehrten Ströme ein. So erreicht im Severn diese Welle die Höhe von 10 Fufs, und noch viel bedeutender soll sie im Ganges und im Amazonen-Strome sein.

Wesentlich verschieden ist die Erscheinung in der Mündung des Adour, wo die Fluth gezwungen ist, durch ein sehr verengtes Profil in ein dahinter liegendes ausgedehntes Becken einzudringen. Wegen der beschränkten Weite der Oeffnung findet während der ganzen Dauer des Hochwassers ein starker Wassersturz hier statt, und im innern Becken ist zur Zeit der Springfluthen der Wasserstand noch 4 Fufs niedriger als in der See, woher die Schiffe erst ausgehn können, wenn die Ebbe schon längere Zeit angehalten, und diese Niveau-Differenz sich ausgeglichen hat.

§. 9.

Wasserstände der Ostsee.

In denjenigen Meeren, welche dem Einflusse der Fluth und Ebbe gar nicht, oder nur in geringem Maafse ausgesetzt sind, fehlen jene grofsen und in kurzen Perioden wiederkehrenden Anschwellungen und Senkungen des Wassers, doch ist der Stand desselben auch hier keineswegs unveränderlich, vielmehr treten noch Schwankungen von solcher Ausdehnung ein, dafs man dieselben weder bei Hafen-Anlagen, noch auch beim Uferschutze unbeachtet lassen darf. Die Ursache dieser Schwankungen ist grofsentheils, und gemeinhin ausschliefslich der Wind. Wenn die Wirkung desselben auf den

Wasserstand des Atlantischen Meeres wegen des überwiegenden Einflusses der Fluthen sich der Beobachtung mehr entzieht, so bietet die Ostsee dagegen die günstige Gelegenheit, den Effect des Windes erkennen zu lassen. Weit vollständiger würde dieses der Fall sein, wenn rings um dieses Binnenmeer regelmäfsige Beobachtungen gemacht würden und mit einander verglichen werden könnten. Der folgenden Untersuchung sind nur die in den Preufsischen Häfen und Lootsenstationen angestellten täglichen Messungen zum Grunde gelegt, die indessen schon sehr vollständig das Sachverhältnifs aufklären, und etwaige Zweifel über die Ursache der zeitweisen hohen Anschwellungen beseitigen, besonders wenn man auch solche Pegelstationen berücksichtigt, die an den kleineren Binnenseen oder Haffen liegen.

Der Wasserstand wird, in gleicher Weise wie bei Strömen (II. Theil dieses Handbuches §. 61), an gewissen aufrechtstehenden Maafsstäben, oder sogenannten Pegeln gemessen, die in diesem Falle, wo die Aenderungen nur langsam erfolgen, der Vorrichtung zum Selbstregistriren nicht bedürfen. Um so nöthiger ist es hier aber, dafs die Maafsstäbe dauernd in ihrer Stellung und in gleicher Höhe erhalten werden. Aufserdem müssen sie auch an Orten angebracht sein, wo sie einem starken Wellenschlage nicht ausgesetzt sind, weil es sonst zuweilen unmöglich sein würde, den Wasserstand daran annähernd richtig zu messen.

Die Rücksicht auf die dauernde Erhaltung der Höhe des Nullpunktes macht es schon sehr wünschenswerth, den Pegel nicht an Bohlwerken und noch weniger an einzelnen Pfählen zu befestigen, sie vielmehr an sicher fundirten Ufermauern anzubringen. Doch auch wenn dieses geschehn ist, mufs man die unvermeidlichen Reparaturen und Erneuerungen vorsehn, und es ist deshalb nothwendig, dafs der Nullpunkt jedes Pegels noch durch sorgfältige Nivellements an andere Festpunkte in der Nähe angeschlossen und periodisch mit diesen immer wieder verglichen werde, damit die zufälligen Veränderungen leicht bemerkt und berichtigt werden können. Nach der bei uns geltenden Instruction vom 23. August 1845 wird ein solcher Vergleich in jedem Jahre einmal gefordert.

Wenn diese Vorsicht angewendet wird, so gewinnt man freilich die Ueberzeugung, dafs der Pegel seine Höhe unverändert gegen das benachbarte Ufer behält, ob dieses selbst aber nicht etwa in

Folge tellurischer Wirkungen sich hebt oder senkt, und dadurch auch die Höhe des Pegels verändert, bleibt dennoch ungewifs. Sollten Bewegungen dieser Art in gröfserer Ausdehnung eintreten, so würde man unter Voraussetzung der Unveränderlichkeit des mittleren Wasserstandes aus den Pegel-Beobachtungen umgekehrt auf die erfolgte Hebung oder Senkung des Ufers schliefsen können.

Erscheinungen dieser Art kommen vielfach vor, und ein grofsartiges Beispiel hiervon zeigt sich auch an der Ostsee. An vielen Stellen der Schwedischen Küste erkennt man nämlich deutlich, dafs in früheren Zeiten und zwar keineswegs in weit entfernten, das Meer viel höher gegen das Ufer stand, als gegenwärtig. Eiserne Ringe, zum Befestigen kleiner Fahrzeuge bestimmt, sind jetzt von den Böten aus nicht mehr zu erreichen, frühere Landeplätze sind wegen der grofsen Höhe unbrauchbar geworden, u. d. gl. Schon Celsius bemerkte diese Veränderungen, und schlofs daraus, dafs die Ostsee eben so wie die Nordsee in jedem Jahrhunderte sich um 40 Zoll senke. Die Schlufsfolge war unbedingt in sofern unrichtig, als die vorausgesetzte Senkung sich auch an andern Ufern dieser Meere zu erkennen geben mufste, und unmöglich an den Häfen und noch weniger an den Deichen vor den Marschen an der Nordsee unbemerkt bleiben konnte. Leopold von Buch erklärte daher viel passender diese Erscheinung durch die stellenweise Erhebung des Landes. Die Richtigkeit dieser Auffassung hat sich seitdem vollständig bestätigt und zwar in der Art, dafs die Schwedische Küste sich an verschiedenen Stellen ganz ungleichmäfsig hebt. Im Maximum beträgt die Hebung jährlich etwas über einen halben Zoll.*) Dabei bleibt es aber sehr zweifelhaft, ob die Bewegung in gleichem Sinne sich dauernd fortsetzt, oder ob vielleicht einst wieder Senkungen eintreten werden. In der Nähe von Stockholm fand man beim Ausgraben eines Canales unter einer Bank von Seemuscheln ein kleines Gebäude mit aufgemauertem Heerde, auf dem noch Holzkohlen lagen. Seitdem dort Menschen wohnen, hatte sich also der Boden zuerst unter das Meer gesenkt, und alsdann wieder darüber erhoben. In der Zeit, wo die grofsen Umformungen der Erdoberfläche erfolgten, sind ähnliche ganz verschiedenartige Bewegungen vielfach vorgekommen, wie dieses die Ablagerungen und For-

*) Poggendorf's Annalen. Band 54. Seite 444 ff.

mationen zeigen, aber auffallend ist es gewifs, dafs an den Ufern der Ostsee solche Aenderungen sich noch gegenwärtig bemerkbar machen.

Es konnte nicht fehlen, dafs diesen Thatsachen gegenüber die Frage entstand, ob andere Ufer der Ostsee gleichfalls Bewegungen erkennen lassen, oder ob sie unverändert gegen den mittleren Wasserstand ihre Höhe behalten. An der Russischen Küste und zwar bei Petersburg und Cronstadt überzeugte man sich, dafs seit zwei Jahrhunderten keine auffallende Aenderung eingetreten sei. Dasselbe kann auch mit gleicher Bestimmtheit von mehreren Stellen der Preufsischen Küste gesagt werden, und zwar in Bezug auf viel entferntere Zeiten. Namentlich Danzig und Königsberg mit ihren niedrigen Umgebungen haben ein halbes Jahrtausend hindurch ihre Höhenlage gegen den Spiegel der See nicht wahrnehmbar verändert.

Bestimmte Angaben hierüber lassen sich indessen nur machen, wenn sichere Wasserstands-Beobachtungen vorliegen. Solche sind in unsern Seehäfen seit 1811 angestellt worden, und auf Veranlassung von Alexander von Humboldt versuchte ich im Jahre 1844*) zu ermitteln, ob aus diesen eine Senkung oder Hebung irgend einer Stelle sich nachweisen liefse. Zu diesem Zwecke wurden für jeden Beobachtungsort, so weit die Ablesungen mit einiger Sorgfalt gemacht waren, zunächst die jährlichen mittleren Wasserstände berechnet und aus diesen alsdann nach der Methode der kleinsten Quadrate der wahrscheinlichste Werth der jährlichen Aenderung und der wahrscheinliche Fehler dieses Werthes bestimmt. Es ergab sich, dafs die gefundene jährliche Aenderung meist kleiner und nur selten wenig gröfser war, als ihr wahrscheinlicher Fehler, dafs also das Vorhandensein einer solchen durchaus nicht sicher sich herausstellte. Eine Ausnahme hiervon zeigte sich nur bei Memel, woselbst diese Untersuchung zu der sehr bedeutenden Hebung des Pegels oder des Landes von $3\frac{1}{2}$ Fufs in 100 Jahren führte. Dieses Resultat war an sich durchaus unwahrscheinlich und mit der niedrigen Lage des Hafens und der Stadt ganz unvereinbar. Bei näherer Untersuchung ergab sich schliefslich, dafs der Festpunkt, mit dem der Pegel ur-

*) Vergleichung der Wasserstände an der Preufsischen Ostseeküste. Poggendorf's Annalen, Band 64, Seite 543 ff.

sprünglich durch ein Nivellement verbunden gewesen, seit langer Zeit nicht mehr existirte, und daher der Pegel, der an einem Pfahle befestigt und wahrscheinlich oft durch das Eis gehoben war, seine frühere Stellung verändert hatte, ohne dafs dieses bemerkt werden konnte. Seitdem im Jahre 1845 die erwähnte neue Instruction, die eben hierdurch veranlafst wurde, ertheilt ist, sind solche Irrthümer nicht mehr zu besorgen. Es ergiebt sich aber aus der vor Kurzem von mir wiederholten Vergleichung, die im Folgenden ausführlicher mitgetheilt werden soll, dafs auch bei Memel in neuerer Zeit keine wahrnehmbare Aenderung eingetreten ist. Aus den dreizehn Jahrgängen von 1831 bis 1843 ergab sich nämlich der mittlere Wasserstand gleich 1 Fufs 6,0 Zoll und aus den 16 Jahren 1846 bis 1861 stellt sich derselbe auf 1 Fufs 5,8 Zoll. Der Unterschied beträgt also nur 0,2 Zoll, während der wahrscheinliche Fehler der letzten Bestimmung gleich 0,34 Zoll, also noch gröfser ist. Hiernach findet also an keinem Punkte der Preufsischen Ostseeküste Hebung oder Senkung des Landes statt, und die Aenderungen des Wasserstandes, die man an den Pegeln bemerkt, rühren allein vom Steigen oder Fallen der See her.

Um diese Aenderungen, wie sie sich an verschiedenen Orten herausstellen, mit einander vergleichen zu können, mufs man zunächst den mittleren Wasserstand für jede Pegelstation berechnen, und in sofern in früherer Zeit auf die Beobachtungen weniger Aufmerksamkeit verwendet, auch die Ablesungen nicht an bestimmter Tagesstunde gemacht wurden, so bezieht sich die folgende Untersuchung ausschliefslich auf die Notirungen, nach dem Jahre 1845. In den meisten Häfen wurde die betreffende Aenderung bereits am 1. Januar 1846 eingeführt, auf einigen Stationen dagegen erst später. Für letztere mufste daher der Jahrgang 1846 ausfallen, und sonach sind dieser Berechnung theils 16 und theils 15 Jahrgänge (nämlich bis zum Schlusse des Jahres 1861) zum Grunde gelegt.

Zunächst wurde für jeden Beobachtungsort und für jeden einzelnen Jahrgang der mittlere Wasserstand berechnet, also das arithmetische Mittel aus allen Beobachtungen, die täglich um 12 Uhr Mittags angestellt sind, gesucht. Sodann würde aus diesen 15 oder 16 Mittelzahlen nochmals das arithmetische Mittel genommen. Jedes einzelne Jahresmittel weicht von diesem letzteren ab, und hieraus kann man nach der Methode der kleinsten Quadrate den wahr-

scheinlichen Fehler des berechneten mittleren Wasserstandes finden, und zwar eben sowol, wenn letzterer nur aus einem einzelnen Jahrgange, als wenn er aus den vorliegenden 15 oder 16 Jahrgängen hergeleitet wurde. Die nachstehende Tabelle enthält diese Resultate, nämlich in Spalte I die Anzahl der zum Grunde gelegten Jahrgänge, in II den mittleren Wasserstand, wie derselbe sich aus diesen Jahrgängen ergiebt. Die beiden letzten Spalten geben endlich die wahrscheinlichen Fehler der mittleren Wasserstände an, und zwar III denjenigen des einzelnen Jahresmittels und IV den des Mittels aus allen Jahrgängen.

	I.	II.	III.	IV.
Wittower Posthaus . .	15	3 F. 9,1 Z.	0,82 Z.	0,22 Z.
Barhöft	15	3 - 9,0 -	0,68 -	0,18 -
Stralsund	15	3 - 9,0 -	0,78 -	0,21 -
Swinemünde	16	3 - 6,0 -	1,08 -	0,28 -
Colbergermünde . . .	16	4 - 10,1 -	1,08 -	0,28 -
Rügenwaldermünde . .	16	3 - 5,6 -	1,05 -	0,27 -
Stolpmünde	16	2 - 3,3 -	1,39 -	0,36 -
Neufahrwasser	16	11 - 2,6 -	1,09 -	0,28 -
Pillau	16	7 - 7,8 -	1,13 -	0,29 -
Memel	16	1 - 5,8 -	1,33 -	0,34 -
Königsberg	16	7 - 8,4 -	1,41 -	0,37 -
Elbing	16	7 - 7,6 -	1,36 -	0,35 -

Die ersten beiden Stationen liegen, wie in § 7 bereits angegeben ist, neben dem soganannten nördlichen Fahrwasser, welches von Stralsund aus zwischen den Inseln Rügen und Hiddens-Oe nach dem offenen Meere führt. Die Station Elbing befindet sich aber nicht neben der Stadt, sondern ohnfern der Mündung des Hafens, an dem sogenannten Hafenhause.

Auffallend sind die sehr bedeutenden Abweichungen in der Gröfse der wahrscheinlichen Fehler der Mittelzahlen für die verschiedenen Beobachtungsorte. Wo die westlichen Winde das Meer auftreiben, und das Wasser alsdann nicht etwa, wie bei Pillau, in einen ausgedehnten Binnensee eintreten kann, stellen sich die Abweichungen am gröfsten heraus. Dieser überwiegende Einflufs des

Westwindes, der auf der nördlichen Hemisphäre der vorherrschende ist, wird sich auch aus dem Folgenden wieder zu erkennen geben. Je nachdem er in einem Jahre mehr oder weniger eintritt, stellt sich auch der mittlere Wasserstand höher oder niedriger, und der Unterschied ist um so gröfser, je mehr der Beobachtungsort dem Einflusse des Westwindes ausgesetzt ist.

Merkwürdiger ist noch die Erscheinung, welche sich aus der Vergleichung der einzelnen Jahrgänge ergiebt, dafs nämlich der mittlere Wasserstand einzelner Jahre sich ungewöhnlich hoch und in andern Jahren ungewöhnlich niedrig herausstellt. In dem Jahre 1854 geschah das erste, und im Jahre 1857 das letzte. Die nachfolgende Tabelle giebt die bezüglichen Differenzen dieser Jahresmittel gegen den allgemeinen mittleren Wasserstand an.

	1854	1857
Wittower Posthaus . .	+ 1,0 Zoll	— 2,3 Zoll
Barhöft	+ 0,6 -	— 1,2 -
Stralsund	+ 1,9 -	— 1,1 -
Swinemünde	+ 2,6 -	— 2,8 -
Colbergermünde . . .	+ 2,8 -	— 3,2 -
Rügenwaldermünde . .	+ 3,0 -	— 2,9 -
Stolpmünde	+ 3,4 -	— 3,2 -
Neufahrwasser	+ 3,7 -	— 2,5 -
Pillau	+ 3,6 -	— 2,2 -
Memel	+ 3,4 -	— 3,4 -
Königsberg	+ 4,6 -	— 3,0 -
Elbing	+ 3,1 -	— 2,9 -

Hieraus ergiebt sich, dafs in manchen Jahren die Ostsee im Allgemeinen einen höheren Stand annimmt, oder mehr mit Wasser angefüllt ist, als in andern. Die Abweichungen gegen den mittleren Wasserstand sind indessen keineswegs für alle Beobachtungsorte gleich grofs, sie stellen sich vielmehr an der östlichen Seite der Küste viel bedeutender heraus, als in der Nähe des Sundes, und dieses Verhältnifs tritt nicht nur bei den positiven, sondern auch bei den negativen Abweichungen ein. Die gröfsere Erhebung an der östlichen Seite ist wieder die unmittelbare Folge der vorherrschenden westlichen Winde, die gröfsere Senkung dagegen erklärt sich

durch das Abtreiben des Wassers bei östlichen Winden, während die westwärts belegenen Stationen in beiden Fällen sich mehr dem constanten Wasserstande der Nordsee anschliefsen. Die starke Senkung bei Wittower Posthaus rührt vielleicht davon her, dafs bei östlichen Winden die Binnenseen der Insel Rügen sich stark senken, und ihr Inhalt auf der Nord- und Südseite der Insel Hiddens-Oe einen leichten Abflufs findet, also vor dieser Station die Zuflüsse aufhören, während der Abflufs durch die Gestaltung des Landes sehr begünstigt ist.

Augenscheinlich ergiebt sich aus der Verschiedenheit dieser Abweichungen vom mittleren Wasserstande, dafs die Ostsee vor der Preufsischen Küste in diesen beiden Jahren ganz verschiedene Gefälle hatte. Dafs dieselben dauernd bleiben, ist nicht anzunehmen, sie stellen sich vielmehr nur bei anhaltenden und stärkeren Winden ein, doch mufsten sie alsdann noch gröfser sein, da sie den bedeutenden Einflufs auf die Jahresmittel ausübten.

Sehr wichtig ist ferner die Frage, wie hoch das Wasser in aufserordentlichen Fällen an den einzelnen Stationen steigt, und wie tief es herabsinkt, und hieran schliefst sich die zweite Frage an, welches der wahrscheinliche Werth der im Laufe eines Jahres zu erwartenden höchsten Anschwellung und tiefsten Senkung ist. Zu diesem Zwecke wurden für jede Station die höchsten und niedrigsten Wasserstände, die aufser den um 12 Uhr beobachteten, noch besonders in den Tabellen notirt werden, für jeden Jahrgang zusammengestellt, die absoluten Maxima und Minima derselben gesucht und aufserdem die Mittelzahlen aus allen berechnet. Um jedoch den Einflufs einigermafsen beurtheilen zu können, den das zufällige Zusammentreffen der Witterungsverhältnisse auf die kleine Anzahl der zum Grunde gelegten höchsten und niedrigsten Wasserstände jedes Jahrganges ausübte, sind aus den Abweichungen vom Mittel noch die wahrscheinlichen Fehler der gefundenen Mittelzahlen berechnet. Die nachstehende Tabelle giebt für jeden der zwölf Beobachtungsorte sowol für das höchste, als für das niedrigste Wasser diese Werthe an. Die Spalte I enthält die absoluten Maxima und Minima vergleichungsweise gegen die oben angegebenen mittleren Wasserstände, die Spalte II die Mittelzahlen aus den jährlichen höchsten und niedrigsten Ständen, und die Spalte III die wahrscheinlichen Fehler dieser Mittelzahlen, Alles in Zollen ausgedrückt.

	Höchste W.-St.			Niedrigste W.-St.		
	I.	II.	III.	I.	II.	III.
Wittower Posthaus . . .	+ 43	+ 25,3	5,5	— 48	— 28,4	6,5
Barhöft	+ 44	+ 30,7	4,4	— 48	— 33,6	8,8
Stralsund	+ 49	+ 34,2	5,4	— 62	— 37,9	8,2
Swinemünde	+ 54	+ 33,6	7,1	— 47	— 30,7	6,3
Colbergermünde	+ 56	+ 33,9	7,2	— 42	— 28,3	4,9
Rügenwaldermünde . . .	+ 45	+ 29,3	5,4	— 35	— 23,6	3,7
Stolpmünde	+ 51	+ 38,2	5,4	— 36	— 23,2	4,0
Neufahrwasser	+ 45	+ 30,0	6,0	— 32	— 22,4	3,8
Pillau	+ 34	+ 22,3	3,8	— 29	— 18,9	3,5
Memel	+ 48	+ 28,5	7,7	— 28	— 19,0	2,8
Königsberg	+ 55	+ 35,6	6,7	— 38	— 22,6	4,1
Elbing	+ 77	+ 34,8	11,3	— 39	— 24,7	4,2

Vergleicht man diese Werthe mit einander, so ergiebt sich, dafs im Allgemeinen der Wasserstand der Ostsee beinahe eben so tief unter den mittleren herabsinkt, wie er zu Zeiten sich über denselben erhebt. Die durchschnittlich in jedem Jahre eintretende tiefste Senkung beträgt im Mittel für die ersten zehn, unmittelbar an der See belegenen, Beobachtungsorte 2 Fufs 2¼ Zoll und die durchschnittliche höchste Anschwellung daselbst 2 Fufs 6¼ Zoll, so dafs die Differenz zwischen dem höchsten und kleinsten Wasser sich durchschnittlich auf 4 Fufs 9 Zoll stellt. Die einzelnen Beobachtungsorte ergeben andre Resultate. Das Maximum der Differenz tritt bei Stralsund ein, wenn Elbing wieder unbeachtet bleibt, woselbst die Differenz noch etwas gröfser ist. Auffallender Weise sinkt aber bei Stralsund das Wasser durchschnittlich um 3,7 Zoll tiefer herab, als es anschwillt. Der Grund dafür ist ohne Zweifel in den localen Verhältnissen zu suchen, insofern hier in gleicher Weise, wie für Wittower Posthaus bereits erwähnt ist, das Wasser bei keinem Winde stark hinzugetrieben werden kann, ohne dafs es gegenüber einen leichten Abfluſs fände. Bei den beiden mehr nordwärts belegenen Stationen Wittower Posthaus und Barhöft tritt dieselbe Erscheinung aus gleicher Ursache ein, doch sind hier die Anschwellungen wie die Senkungen etwas geringer. An allen übrigen Beobachtungsorten schwillt das Wasser über den mittleren Stand höher an, als es darunter herabsinkt.

Bei Swinemünde und noch mehr bei Colbergermünde, so wie in geringerem Maafse bei Stolpmünde ist die Anschwellung höher,

als an den übrigen unmittelbar an der See belegenen Stationen. Für Swinemünde ist dieses leicht erklärlich, insofern das Ufer hier eine tiefe Bucht bildet, in welche entgegenstehende Winde das Wasser stark hineintreiben. Dasselbe findet jedoch keinen leichten Abfluſs nach dem Haffe, weil die Swine nicht nur sehr enge, sondern aufserdem auch vielfach gekrümmt und über 2 Deutsche Meilen lang ist. Sie erstreckt sich sogar grofsentheils in einer Richtung, die rechtwinklig gegen denjenigen Wind gekehrt ist, der die Anschwellung vor Swinemünde veranlafste, wobei also der Abfluſs nicht befördert, vielmehr zum Theil sogar gehemmt wird. Colbergermünde und Stolpmünde liegen dagegen an ziemlich geraden Uferstrecken, während Rügenwaldermünde nahe auf eine vortretende Ecke trifft. Alle drei Orte haben keine ausgedehnte Binnenseen hinter sich, in welche das steigende Wasser eintreten könnte.

Neufahrwasser ist durch die Halbinsel Hela, so wie auch auf der andern Seite durch die nordwärts sich hinziehende Frische Nehrung und durch das westliche Ufer des Samlandes bis Brüsterort so sehr geschützt, dafs die Anschwellungen und Senkungen hier nicht bedeutend sein können. Wenn diese bei Pillau noch kleiner werden, so rührt dieses unzweifelhaft davon her, dafs die westlichen Winde, welche die Anschwellungen verursachen, gleichzeitig durch die weite Verbindungs-Oeffnung, oder das Tief, das Wasser in das Frische Haff treiben, das in gleicher Richtung über 3 Meilen bis zur Mündung des Pregels sich hinzieht. Auch sein südlicher Theil, das Elbinger Haff genannt, nimmt alsdann grofse Wassermassen auf. Bei Memel sind die Anschwellungen viel gröfser, weil das dahinter liegende Curische Haff sich nicht von Westen nach Osten, sondern von Norden nach Süden hinzieht, und die schmale, nahe 2 Meilen lange Verbindung gleichfalls diese Richtung hat. Der Eintritt des Wassers aus der See in dieses Haff kann daher nicht mit derselben Leichtigkeit wie bei Pillau erfolgen. Die Senkungen des Wassers unter den mittleren Stand sind dagegen an diesen beiden Orten nahe dieselben und vergleichungsweise gegen die übrigen Pegelstationen sehr geringe. Die dahinter liegenden Haffe, die bei fallender See reichlich abfliefsen, verhindern ohne Zweifel die besonders tiefen Wasserstände, und insofern die Ausströmung aus denselben stets viel schwächer bleibt, als die Einströmung bei starkem Sturme, so liefert auch die schmale und lange Mündung des Curischen Haffes noch

die nöthige Wassermenge, um das Wasser vor Memel nicht zu tief herabsinken zu lassen.

Bei Königsberg sind die durchschnittlich in jedem Jahre vorkommenden Anschwellungen um 1 Fufs 9 Zoll höher, als in Pillau, weil hier das auftreibende Wasser nicht weiter abfliefsen kann, sich also stärker ansammeln mufs. Bei Elbing erreichte das Wasser im Jahre 1855 zwar die ganz ungewöhnliche Höhe von 6 Fufs 5 Zoll über dem mittleren Stande, doch wurde dieser hohe Stau nur durch zufällige äufsere Verhältnisse veranlafst und die höchste jährliche Anschwellung ist durchschnittlich nicht gröfser, als in Königsberg.

Es dürfte von Interesse sein, die gleichzeitig längs der ganzen Küste eintretenden hohen und niedrigen Wasserstände kennen zu lernen. In der nachstehenden Tabelle sind einige derselben zusammengestellt, doch darf dabei nicht unerwähnt bleiben, dafs die Richtung und Stärke des Windes nach Angabe der Wasserstands-Tabellen niemals bei allen Stationen sich gleich bleiben, vielfach sogar darin gleichzeitig ganz entgegengesetzte Winde angegeben sind, während doch anzunehmen ist, dafs Irrthümer in dieser Beziehung nicht vorkommen konnten. Häufig ergeben auch die Tabellen, dafs derselbe Wind, der an einem Beobachtungsorte bereits als Sturm bezeichnet ist, an den entfernteren Orten erst am folgenden Tage eintritt. Die hier zusammengestellten Wasserstände sind daher zuweilen nicht an demselben, sondern an zwei auf einander folgenden Tagen abgelesen, doch ist dieses in der nachstehenden Erklärung jedesmal erwähnt, woselbst auch die verschiedenen Angaben über den Wind im Allgemeinen mitgetheilt sind. Die Zahlen der Tabelle weisen nach, um wieviel Zolle das Wasser über den mittleren Stand sich erhob, oder sich darunter senkte.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
Wittower Posthaus . . .	+ 29	+ 33	+ 43	— 20	— 21	— 45
Barhöft	+ 27	+ 33	+ 44	— 21	— 21	— 33
Stralsund	+ 29	+ 33	+ 49	— 24	— 41	— 62
Swinemünde	+ 30	+ 42	+ 42	— 18	— 18	— 47
Colbergermünde	+ 32	+ 33	+ 50	— 16	— 15	— 42
Rügenwaldermünde . . .	+ 28	+ 33	+ 42	— 15	— 12	— 35
Stolpmünde	+ 39	+ 39	+ 45	— 13	+ 3	— 36
Neufahrwasser	+ 30	+ 45	+ 39	— 12	— 5	— 27
Pillau	+ 34	+ 30	+ 26	— 12	+ 5	— 10
Memel	+ 57	+ 20	+ 27	— 11	+ 18	— 2
Königsberg	+ 53	+ 36	+ 24	— 14	— 5	— 11
Elbing	+ 43	+ 70	+ 29	— 11	— 39	— 14

Die Spalte I bezeichnet die hohen Wasserstände im März 1849. Die Maxima traten an den östlichen Stationen am 13, in Memel und Königsberg sogar schon am 12, von Colbergermünde ab bis Wittower Posthaus dagegen erst am 14. März ein. Die Richtung des Windes wird sehr verschieden angegeben und zwar bald Nord-Nord-Ost, bald Nord - Nord - West, bei Memel sogar West. Was die Stärke des Windes betrifft, so wird derselbe überall als Sturm bezeichnet.

Die zweite Spalte bezieht sich auf die Wasserstände vom 15. und 16. März 1850. Der Wind war an allen Beobachtungsorten Nord-Ost oder Nord-Nord-Ost, und wurde fast überall Sturm genannt. An den westwärts gelegenen Stationen schwoll das Wasser schon am 15. am stärksten an, von Stolpmünde ab bis Memel trat dagegen das Maximum erst den 16. ein. Auffallend ist die sehr grofse Höhe bei Elbing.

Bei dem Sturme am 21. und 22. Januar 1858 traten die Wasserstände ein, welche die Spalte III angiebt. Der Wind war im Allgemeinen nördlich, auf einigen Stationen aber Nord-Ost und selbst Ost-Nord-Ost. Der höchste Wasserstand trat wieder an den westlich belegenen Punkten früher ein, als an den östlichen.

Die Spalte IV enthält die niedrigen Wasserstände vom 19. April 1849. Der Wind war nur schwach, aber er stand anhaltend in Süd-West und West-Süd-West.

Am 26. Juli 1858 traten die in Spalte V angegebenen Wasserstände ein. Die Stärke des Windes wird an allen Beobachtungsorten als Sturm bezeichnet, seine Richtung aber sehr verschieden angegeben, nämlich auf den beiden ersten Stationen West, von Stralsund bis Stolpmünde West-Süd-West, bei Neufahrwasser, Pillau und Memel Süd-West. Diese sehr abweichenden Windrichtungen erklären zum Theil die auffallende Verschiedenheit der Wasserstände. Während die meisten Stationen eine starke Senkung ergeben, so erhebt sich in Stolpmünde, Pillau und Memel das Wasser über den mittleren Stand, am letzten Orte sogar um $1\frac{1}{2}$ Fufs.

Die letzte Spalte VI enthält endlich die zum Theil ganz ungewöhnlich niedrigen Wasserstände vom 26. November 1861. Der Wind, der mehrfach Sturm genannt wird, ist meist als Süd, oder Süd-Süd-West bezeichnet. Es mufs aber bemerkt werden, dafs bei gleicher Richtung, doch bei gröfserer Stärke desselben, der Pegel

bei Elbing 6 Tage früher — 38 Zoll gegen den mittleren Wasserstand ergeben hatte.

Wenn die Erscheinungen, welche die vorstehende Tabelle nachweist, sich auch keineswegs in allen Einzelheiten sicher erklären lassen, so ergiebt sich daraus doch unverkennbar, dafs das Meer anschwillt, wenn der Wind gegen das Ufer gerichtet ist, und dafs es fällt, wenn in entgegengesetzter Richtung der Wind von der Landseite kommt. Die Anschwellung oder Senkung ist aber um so höher oder tiefer, je heftiger und dauernder diese Winde sind. Ohne Zweifel tritt hierbei nicht nur diejenige Erhöhung des Wasserstandes ein, welche das Auflaufen der Wellen auf den ansteigenden Grund bedingt, und wovon §. 5 die Rede war, sondern die bewegte Luft theilt aufserdem auch der Oberfläche des Wassers eine entsprechende Bewegung mit, und giebt derselben eine sanfte Steigung in dieser Richtung. Wie einfach und natürlich diese Erklärung auch ist, so hat man sich dennoch damit nicht begnügt, und vielmehr die theilweisen Anschwellungen durch den verschiedenen Barometerstand zu erklären versucht. Es leidet auch keinen Zweifel, dafs wenn die Barometerstände an zwei verschiedenen Punkten desselben Meeres von einander abweichen, und eine Ausgleichung in der Atmosphäre nicht erfolgt, dafs alsdann das Wasser unter dem stärkeren Drucke seitwärts ausweichen und eine Erhebung des Wasserspiegels an der Stelle veranlassen wird, die weniger belastet ist. Manche Beobachtungen zeigen in der That den Zusammenhang zwischen dem Wasserstande der See und dem Luftdrucke. Wenn der mittlere Barometerstand mit β bezeichnet wird, so müfste bei einem Barometerstande b der Wasserstand sich über den mittleren um

$$n(\beta - b)$$

erheben, und der Factor n wäre nichts andres, als das Verhältnifs des specifischen Gewichtes des Quecksilbers zu dem des Seewassers. Die auf Veranlassung des Französischen Marine-Ministeriums angestellten Untersuchungen ergaben in der That nach den in Lorient gemachten Beobachtungen $n = 15{,}5$ und nach denjenigen von Brest $n = 12{,}3$. Zu noch genaueren Resultaten führten die Beobachtungen von Toulon, aus welchen Aimé in der That das richtige Verhältnifs $n = 13{,}1$ herleitete.

Wie interessant diese Resultate auch sind, so darf man doch nicht unbeachtet lassen, dafs verschiedene Barometerstände schon an

sich entsprechende Luftströmungen oder Winde veranlassen, und dafs diese um so stärker sind, je gröfser die Differenz jener war. Sonach kommt man auch bei dieser Erklärung wieder auf die frühere zurück. In vielen Fällen bemerkt man aber beim Vergleiche der Wasserstände verschiedener nicht weit von einander entfernter Orte so grofse Unterschiede, dafs diese sich durch die Differenzen der Barometerstände nicht mehr erklären lassen. Namentlich zeigen dieses die Beobachtungen in Königsberg und Elbing. Beide Stationen sind nur 12 Meilen von einander entfernt, die Barometerstände können daher unmöglich längere Zeit hindurch bedeutend von einander abweichen, und nichts desto weniger sind die Wasserstände daselbst oft sehr verschieden. Schon die vorstehende Tabelle weist sowol in Spalte II, wie in Spalte V Unterschiede von 34 Zoll nach. Sollte der verschiedene Luftdruck diese veranlafst haben, so müfsten die Barometerstände an beiden Orten sogar um $2\frac{1}{2}$ Zoll von einander verschieden gewesen sein. Viel natürlicher ist die erste Erklärung. Der Sturm aus Nord-Ost, der also in der Richtung des Haffes wehte, trieb im ersten Falle das Wasser vor Elbing auf, während im zweiten Falle der entgegengesetzte Sturm, nämlich aus Süd-West es entfernte, und den Wasserspiegel hier senkte.

Schliefslich mufs noch einer auffallenden Erscheinung gedacht werden, welche sich aus der Vergleichung der Wasserstände sehr deutlich ergiebt. Es zeigt sich nämlich, dafs auf sämmtlichen, unmittelbar an der See belegenen Stationen der mittlere Wasserstand nach den Jahreszeiten sich verschieden herausstellt, und dafs selbst die einzelnen Jahrgänge für die Sommermonate höhere Wasserstände ergeben, als für die Wintermonate. Die folgende Tabelle weist diese Verschiedenheit speciell nach, indem sie zunächst angiebt, um wieviel Zolle der mittlere Wasserstand jedes Monats während der 15 oder 16 Jahrgänge für jeden Beobachtungsort über oder unter den oben bezeichneten mittleren Wasserstand fällt. Die letzte Reihe enthält aber die arithmetischen Mittel aus diesen Differenzen für die 10 Beobachtungsorte.

	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni
Wittower Posthaus .	— 1,0	— 0,2	+ 0,3	— 2,1	— 2,5	— 1,2
Barhöft	— 1,2	— 0,8	— 0,8	— 2,8	— 2,2	— 1,1
Stralsund	— 1,7	— 0,7	— 0,3	— 2,0	— 1,7	— 0,8
Swinemünde . . .	— 1,2	— 0,2	+ 1,2	— 1,1	— 2,7	— 1,7
Colbergermünde . .	— 1,3	+ 0,7	+ 0,3	— 2,8	— 3,4	— 1,3
Rügenwaldermünde .	— 1,1	+ 0,9	+ 0,4	— 3,3	— 3,8	— 1,9
Stolpmünde	+ 0,9	+ 2,9	+ 0,8	— 3,5	— 4,8	— 2,4
Neufahrwasser . . .	— 1,8	+ 0,3	+ 0,4	— 3,1	— 3,5	— 1,3
Pillau	— 1,9	+ 0,4	+ 0,7	— 2,6	— 3,6	— 1,8
Memel	— 1,9	+ 0,2	+ 1,9	— 0,1	— 3,5	— 2,5
Im Mittel	— 1,2	+ 0,3	+ 0,5	— 2,4	— 3,2	— 1,6

	Juli	August	Septbr.	Octbr.	Novbr.	Decbr.
Wittower Posthaus .	+ 1,3	+ 1,0	+ 2,6	+ 1,2	+ 1,1	— 0,5
Barhöft	+ 2,1	+ 1,6	+ 2,7	+ 1,2	+ 1,3	0,0
Stralsund	+ 2,1	+ 1,3	+ 2,5	+ 1,1	+ 0,3	— 0,2
Swinemünde . . .	+ 2,5	+ 2,1	+ 2,4	0,0	— 0,3	— 1,1
Colbergermünde . .	+ 2,2	+ 1,8	+ 2,8	+ 0,4	+ 0,5	+ 0,2
Rügenwaldermünde .	+ 2,1	+ 1,9	+ 2,7	+ 0,6	+ 0,8	+ 0,7
Stolpmünde	+ 1,4	+ 1,2	+ 2,1	0,0	+ 0,4	+ 0,8
Neufahrwasser . . .	+ 3,0	+ 2,5	+ 3,0	+ 0,3	— 0,1	+ 0,3
Pillau	+ 2,8	+ 2,3	+ 2,8	+ 0,4	— 0,1	+ 0,5
Memel	+ 1,9	+ 1,8	+ 2,3	+ 0,8	+ 0,9	— 1,9
Im Mittel	+ 2,1	+ 1,7	+ 2,6	+ 0,6	+ 0,5	— 0,1

Die grofse Uebereinstimmung dieser Resultate bei allen Stationen, die, wie bereits erwähnt, selbst in den einzelnen Jahrgängen sich wiederfindet, zeigt unverkennbar, dafs an der ganzen Preufsischen Ostsee-Küste und wahrscheinlich in der ganzen Ostsee der Wasserstand im Laufe jedes Jahres sehr bedeutend, nämlich nahe um 6 Zoll wechselt. Am tiefsten sinkt er im Mai herab und am höchsten erhebt er sich im September. Es liegt sehr nahe, eine gewisse Beziehung zwischen dem Wasserstande und der Erwärmung des Seewassers anzunehmen, doch dürfte dabei die Nordsee nicht als der normirende Recipient angesehn werden, der dasselbe Niveau und dasselbe Wasser von gleicher Dichtigkeit dauernd behält, die Ausgleichung kann vielmehr erst im Atlantischen Ocean gesucht

werden, woselbst in Folge der kräftigen Meeresströmungen die Temperatur-Wechsel viel mäfsiger bleiben. Nichts desto weniger ist die Erscheinung unzweifelhaft noch durch andere Verhältnisse bedingt. Die höheren Wasserstände im Februar und März und namentlich im Juli lassen vermuthen, dafs auch die Ergiebigkeit der einmündenden Ströme auf sie grofsen Einflufs ausübt. Endlich tragen auch die in gewissen Perioden eintretenden Winde und Stürme, welche das Wasser theils in die Nordsee, und theils aus dieser zurück in die Ostsee treiben, wahrscheinlich wesentlich mit bei, um die regelmäfsig wiederkehrenden Anschwellungen und Senkungen zu veranlassen.

Es mag hier noch erwähnt werden, dafs eine ähnliche Beobachtungsreihe auch für das Mittelländische Meer durch Aimé bekannt gemacht ist,*) die sich freilich allein auf den Jahrgang 1843 bezieht. Die mittleren Wasserstände der einzelnen Monate hoben oder senkten sich gegen den mittleren Wasserstand dieses Jahres um

Januar . .	— 1,00 Rhl. Zoll	Juli . . .	— 2,53 Rhl. Zoll
Februar . .	+ 2,07 - -	August . .	+ 0,92 - -
März . . .	— 2,53 - -	September .	+ 0,92 - -
April . . .	— 2,53 - -	October . .	+ 3,22 - -
Mai . . .	— 2,91 - -	November .	+ 5,14 - -
Juni . . .	— 1,76 - -	December .	+ 0,92 - -

Wenn diese Angaben von den für die Ostsee gefundenen nicht unerheblich abweichen, so ist dennoch eine gewisse Analogie dazwischen nicht zu verkennen.

§. 10.
Meeres-Strömungen.

Abgesehn von den Strömungen vor den Mündungen grofser Flüsse, die man zuweilen noch weit in das Meer verfolgen kann, so wie auch von denen, welche die Fluth und Ebbe namentlich vor einer inselreichen Küste veranlafst, zeigen sich in den grofsen Weltmeeren noch mächtige Strömungen, welche nicht nur auf die Uferbildung wesentlichen Einflufs haben, und beim Betriebe der Schifffahrt die höchste Beachtung fordern, sondern die auch die klimati-

*) Comtes rendus de l'Académie des sciences. 1844.

schen Verhältnisse der Küsten-Länder bedingen und in grofsem Maafse eine Ausgleichung der Temperatur veranlassen. Die Ursachen ihres Entstehens sind nicht immer dieselben. Es mag zunächst von den einfacheren die Rede sein, deren Wirkungen mehr local bleiben, und nicht über grofse Meeresflächen sich verbreiten.

In der Strafse von Gibraltar findet stets eine östliche Strömung*) statt, die also aus dem Atlantischen in das Mittelländische Meer sich ergiefst. Die Segelschiffe, welche das Letztere verlassen wollen, brauchen einen starken östlichen Wind, weil sie sonst den Strom nicht überwinden können, und es geschieht nicht selten, dafs sie mehrere Monate liegen müssen, ehe ihnen der Durchgang möglich wird. Ganz dasselbe ist im Rothen Meere der Fall, welches gleichfalls durch die Strafse Babelmandeb aus dem Indischen Ocean dauernd gespeist wird.

In das Rothe Meer, das beinahe ganz in der heifsen Zone liegt, indem es sich vom 13. bis zum 30. Breitengrade erstreckt, ergiefst sich kein gröfserer Strom. Es findet daher hier ohne Zweifel eine sehr starke Verdunstung statt, und wenn es mit dem Weltmeere nicht in Verbindung stände, so würde es, wie das Todte Meer, weit unter den allgemeinen Meeresspiegel herabsinken und vielleicht ganz versiegen. Da eine solche Verbindung indessen besteht, so erklärt sich der ununterbrochene Zufluſs, indem dadurch die sehr grofsen Wassermassen ersetzt werden, welche durch Verdunstung in die Atmosphäre treten. Diese Erklärung ist indessen in sofern bedenklich, als man wohl annehmen müfste, dafs wenn seit Jahrtausenden Seewasser stets eingeströmt und nur reines Wasser diesem Meere entzogen wäre, dafs alsdann die Salz-Niederschläge das ganze Becken schon angefüllt, und dasselbe in ein mächtiges Salzlager verwandelt haben müfsten.

Bei dem Mittelländischen Meere sind die Verhältnisse wesentlich verschieden, indem eines Theils seine Lage schon mehr nördlich ist und aufserdem auch der Nil, die Donau, die Rhone und andre sehr bedeutende Ströme dasselbe speisen. Manche Thatsachen

*) Die Strömungen werden stets nach den Richtungen bezeichnet, wohin das Wasser fliefst. Die Bezeichnung ist also derjenigen entgegengesetzt, welche man für die Winde gebraucht. Der östliche Strom kommt aus Westen, der östliche Wind dagegen aus Osten. Diese Bezeichnungsart ist nicht nur bei uns, sondern auch in England und Frankreich üblich.

haben hier zu einer andern Erklärung geführt und die Ursache der dauernden Einströmung sehr deutlich erkennen lassen. Schon im Jahre 1712 bemerkte der Befehlshaber eines Französischen armirten Schiffes, dafs ein Niederländisches Fahrzeug, welches er auf der Höhe von Tanger versenkt hatte, kurze Zeit darauf etwa 4 Lieus westlich, also in einer Richtung, die der des sichtbaren Stromes ganz entgegengesetzt war, von den Wellen auf das Ufer geworfen wurde. Aehnliche Erfahrungen sind seitdem verschiedentlich gemacht, wenn auch diese submarine Strömung bisher noch nicht direct beobachtet ist. Am wichtigsten ist eine Untersuchung von Wollaston. Demselben wurde nämlich eine Flasche Seewasser übergeben, das etwa 50 Seemeilen westwärts von der Strafse von Gibraltar und zwar in der Tiefe von 670 Faden oder 4000 Fufs geschöpft war, und in diesem Wasser betrug der Salzgehalt das Vierfache von demjenigen, der sich im Atlantischen Meere vorfindet. Hiernach leidet es keinen Zweifel, dafs im Mittelländischen Meere der Salzgehalt in den verschiedenen Tiefen nicht derselbe ist, er vielmehr mit der Tiefe zunimmt, und sonach das Wasser in seinen obern Schichten specifisch leichter ist, als in den untern. Im Atlantischen Meere findet eine solche Verschiedenheit nur in geringem Maafse statt, weil hier die grofsen Strömungen, von denen später die Rede sein wird, so wie auch die kräftige Fluth und Ebbe die ganze Masse mehr in Bewegung setzen und daher solche verschiedenartige Schichtung verhindern. Indem nun diese beiden Meere durch eine Oeffnung von 7 Seemeilen Breite und vielleicht 400 Fufs Tiefe mit einander verbunden sind, so kann es nicht fehlen, dafs die schwerere untere Schicht nach dem Atlantischen Ocean abfliefst und dadurch ein submariner mächtiger Strom entsteht. Indem dieser sehr grofse Wassermassen abführt und dadurch den Spiegel des Mittelländischen Meeres senkt, so erfolgt in der Nähe der Oberfläche die starke Einströmung, welche der Augenschein erkennen läfst. Letztere erklärt sich also selbst in dem Falle, dafs die Verdunstung durch die Ergiebigkeit der Zuflüsse aus den umgebenden Küsten-Ländern vollständig gedeckt werden sollte. Aehnliche Verhältnisse sind auch an der Mündung des Rothen Meeres sehr wahrscheinlich.

Eine andre wichtige Strömung, der Aequatorial-Strom, durch die Drehung der Erde veranlafst, findet in der heifsen Zone oder zwischen den Wendekreisen statt. Er bewegt das Wasser von

Osten nach Westen mit der mäfsigen Geschwindigkeit von etwa 10 Seemeilen oder 2½ Deutschen Meilen in 24 Stunden. Schon Columbus bemerkte ihn auf seiner dritten Reise. Sein Zusammenhang mit den Passatwinden steht wohl aufser Zweifel, ob er aber durch diese, also nur durch Adhäsion der Luft, verursacht wird, oder ob dieselbe Ursache beide Strömungen erregt, ist nicht entschieden. Luft wie Wasser strömen vielfach aus höheren Breiten dem Aequator zu. Die Umdrehungsgeschwindigkeit der Erde ist hier aber gröfser, als in den höheren Breiten. Luft und Wasser kommen daher mit Geschwindigkeiten an, die denen der Erde noch nicht entsprechen, und drehen sich folglich minder schnell um die Achse der Erde, als die Erde selbst, oder sie bewegen sich vergleichungsweise gegen die feste Masse der Oberfläche von Osten nach Westen.

Von viel gröfserer Bedeutung sind diejenigen Strömungen in den grofsen Meeren, die vollständige Kreisläufe beschreiben, sehr verschiedene Breiten-Grade berühren und den wesentlichsten Einfluſs auf die Ausgleichung der Temparaturen ausüben. Der bekannteste und vielleicht der bedeutendste unter diesen ist der Golfstrom, der im Mexicanischen Meerbusen seinen Anfang nimmt, längs der östlichen Küste von Nordamerika bis gegen Neufundland sich hinzieht und sich von hier ostwärts wendet. Boston gegenüber hat er die Breite von 80 Seemeilen und seine Geschwindigkeit mifst stellenweise mehr als 4 Knoten,*) oder über eine geographische Meile

*) Die Seemeile entspricht einer Minute des Meridian-Kreises, sie ist daher dem vierten Theile einer geographischen oder Deutschen Meile gleich und annähernd auch gleich dem vierten Theile einer Preufsischen Meile oder 500 Ruthen lang. Der Seemann mifst die Fahrt oder die Geschwindigkeit seines Schiffes mit dem Log, das nach seiner gewöhnlichen, auch jetzt noch allgemein üblichen Einrichtung im zweiten Theile dieses Handbuches §. 62 beschrieben und Fig. 75 dargestellt ist. Die Leine, woran das Log hängt, ist mit numerirten Knoten versehn, die 50 Fufs von einander entfernt sind. Der erste Knoten ist aber in solchem Abstande vom Log angebracht, dafs letzteres der unmittelbaren Einwirkung der Bewegung des Schiffes nicht mehr ausgesetzt ist, sobald dieser Knoten durch die Hand des Matrosen gleitet. In dem Augenblicke, wenn dieses geschieht, kehrt der Schiffsjunge, der daneben steht und die Sanduhr hält, die letztere um, so dafs nunmehr die Zeitmessung beginnt. Die Sanduhr läuft in einer halben Minute ab, und die Anzahl der Knoten, die während dieser Zeit durch die Hand des Matrosen laufen, bezeichnen die Fahrt des Schiffes. Der Matrose hält aber beim Ablaufen der Uhr die Leine sogleich fest, und kann sonach auch halbe und Viertel Knoten ablesen. Die Anzahl der Knoten mit 50 multiplicirt giebt den Weg an, den das Schiff in einer halben Minute macht,

in der Stunde. Weiter nordwärts wird er schwächer, indem er sich zugleich erweitert oder an Breite zunimmt. Es ergiebt sich hieraus, welchen wesentlichen Einfluſs er auf die höchst frequente Schifffahrt zwischen Europa und Nord-Amerika haben muſs. Schiffe, die nicht gerade zum Schnellsegeln eingerichtet sind, können nur bei günstigem und frischem Winde gegen ihn aufkommen, sonst werden sie mit ihm fortgerissen, und indem die ganze Wassermasse um sie in gleicher Bewegung ist und die Ufer meist viel zu weit entfernt sind, um noch gesehn zu werden, so bemerken die Schiffer gar nicht die starke Strömung, von der sie in ganz andrer Richtung, als sie zu fahren glauben, fortgerissen werden. Noch im Anfange dieses Jahrhunderts war es allgemein üblich, daſs Schiffe, die von Europa aus nach Newyork, Boston und andern Häfen bestimmt waren, mit Rücksicht auf diesen Strom nicht den directen Weg einschlugen, vielmehr südwärts fuhren, bis sie hinter den Canarischen Inseln den Passatwind erreichten, der sie nach den Westindischen Inseln und endlich in den Golfstrom brachte. Mit diesem trieben sie alsdann soweit nordwärts, bis sie ihren Bestimmungsort erreichten. Dieser Vorsicht unerachtet gehörte es dennoch nicht zu den Seltenheiten, daſs sie vom Strome zu weit getrieben wurden, und daſs alsdann nichts übrig blieb, als dem Strome noch weiter bis in die Nähe von Irland zu folgen und den ganzen Weg nochmals zu machen.

Indem die Wassermasse, welche das Schiff umgiebt, dieselbe Bewegung hat, so ist letztere durch das Log nicht zu erkennen, eben so wenig ist es aber auch möglich, das Schiff mit Ankern am Grunde des Meeres festzuhalten, weil die Tiefe viel zu groſs ist. Man hatte jedoch schon früher bemerkt, daſs die Strömung, wenigstens stellenweise, nicht bis zu unerreichbaren Tiefen sich fortsetzte, und daſs daher kleine Böte, wenn von solchen aus recht groſse beschwerte Kessel tief herabgelassen wurden, sehr heftig gegen den Strom trieben, also mehr oder weniger dem Einflusse desselben entzogen wurden. Im Allgemeinen lieſs sich die Richtung und Stärke des Stromes nur aus astronomischen Beobachtungen erkennen, indem

---

diese Länge mit 120 multiplicirt bezeichnet den in einer Stunde zurückgelegten Weg, und jeder einzelne Knoten entspricht alsdann dem Wege von 6000 Fuſs oder einer Seemeile. So giebt die Anzahl der Knoten unmittelbar an, wieviel Seemeilen das Schiff in einer Stunde durchläuft.

der Weg, den das Schiff nach den letzteren, also wirklich zurückgelegt hatte, mit dem Wege verglichen wurde, den das Besteck, also der Compas und das Log ergab. Hierdurch war die Strömung nach ihrer Richtung und Stärke, die sie an verschiedenen Stellen hat, bekannt geworden und dem Schiffer das Mittel geboten, derselben in der passendsten Weise sich zu entziehn, oder sie zu benutzen.

Der Schiffer kann indessen noch in andrer Weise sicher erkennen, ob er in diesem Strome sich befindet, und hierzu dient das Thermometer. Der Strom, der das stark erwärmte Wasser aus dem Mexicanischen Meerbusen nordwärts führt, hat eine bedeutend höhere Temperatur, als das umgebende Seewasser. Es kommt also nur darauf an, die Temperatur des Wassers oft zu messen, so ergiebt sich leicht, ob das Schiff bereits in den Strom getreten ist. Aufserdem giebt auch schon die äufsere Erscheinung der Oberfläche sehr auffallend den Strom und zuweilen sogar seine scharfe Begrenzung zu erkennen, so dafs man häufig mit voller Sicherheit wahrnehmen kann, dafs das Schiff in ihn einfährt. Das Wasser des Stromes ist wegen des stärkeren Salzgehaltes, ohnerachtet seiner vollkommenen Klarheit dunkelblau gefärbt, und die darauf schwimmenden Körper werden aus dem Strome nach seinen Ufern, also nach dem stehenden Wasser daneben getrieben, woher bei ruhiger Witterung die Begrenzung sich durch einen mehr oder minder breiten Streif von schwimmenden Gräsern u. d. gl. markirt. Diese Erscheinung ist leicht erklärlich. Wie in einem Glase mit warmem Wasser, das man in ein kaltes Zimmer stellt, die Abkühlung in der Oberfläche und an den Seitenwänden beginnt, und neben den letzteren das kältere und folglich schwerere Wasser herabsinkt, während das wärmere in der Achse des Glases ansteigt, wodurch eine Strömung entsteht, die in der Oberfläche von der Mitte aus nach den Rändern gerichtet ist, so geschieht dieses auch in der Wassermasse des Golfstromes, und alle darauf schwimmenden Gegenstände werden nach seinen beiderseitigen Rändern hingetrieben. Man hat die Erscheinung mit dem Verhalten von schweren Körpern verglichen, die auf dachförmig gegen einander gelehnte Flächen geworfen werden, und nach der einen oder der andern Seite herabrollen.

Ich gehe nunmehr zur nähern Bezeichnung dieses Stromes über, indem ich für den Haupttheil desselben, der sich längs der Küste

von Nord-Amerika hinzieht, die bei Gelegenheit der Küsten-Vermessung gemachten Beobachtungen benutze.*) In dem Mexicanischen Meerbusen beginnt der Strom, woselbst in Folge der erwähnten Aequatorial-Strömung das Wasser sich anhäuft, das bei zunehmender Erwärmung noch um so höher anschwillt. Es findet seinen Abfluſs in der Bahama-Straſse, indem es zwischen der gleichnamigen Insel und der Halbinsel Florida hinaustritt. Anfangs strömt es ganz nordwärts, indem es von der zurücktretenden Küste von Georgia bis 100 Seemeilen entfernt bleibt. Der Strom ist zunächst nur etwa 50 Seemeilen breit, und hier hat er die gröſste Geschwindigkeit, die bis 5 Knoten, also $1\frac{1}{4}$ Deutsche Meile in der Stunde beträgt. Längs Süd- und Nord-Carolina ist er parallel zur Küste, daher nordöstlich gerichtet. Er verbreitet sich hier aber sehr stark, indem ein Theil des Wassers schon unter dem 30. Breitengrade sich ganz nach Osten wendet. Dem Cap Hatteras gegenüber, in Nord-Carolina, beträgt seine Breite schon 450 Seemeilen, doch ist in derselben die Strömung nicht überall gleich stark, vielmehr befinden sich darin drei tiefere Schläuche, die mehr oder minder ostwärts gerichtet sind, und in welchen sowohl die Geschwindigkeit, als die Temperatur viel bedeutender sind, wie in den zwischenliegenden Wasserflächen. Unter den verschiedenen Messungen der Wärme des Wassers mag eine angeführt werden, die etwas weiter nordwärts, nämlich unter dem 36. Breitengrade angestellt ist. Die Temperatur in der Oberfläche des Stromes war $23\frac{1}{2}$ Grade Réaumur, in 100 Faden Tiefe $17\frac{1}{2}$, in 200 Faden 15, in 300 Faden $13\frac{1}{2}$, in 400 Faden $10\frac{3}{4}$ und in 500 Faden oder in der Tiefe von 3000 Fuſs $8\frac{1}{2}$ Grade R. Das stehende Wasser zur Seite hatte zwar im Meeresspiegel die hohe Temperatur von $22\frac{1}{4}$ Graden, indem wahrscheinlich die erwärmte Oberfläche des Stromes seitwärts überflofs, in der Tiefe von 70 Faden zeigte das Thermometer aber nur noch 8 und bei 500 Faden nur 3 Grade.

Der Strom tritt demnächst, indem er immer schwächer wird, gegen die Bank von Neufundland. In seiner Oberfläche hat er noch die Temparatur von 17 Graden, während das Meer daneben nur etwa

*) A. D. Bache, lecture on the Golf Stream, prepared at the Request of the Americain Association for the Advancement of Science, in Silliman's Americain Journal. November 1860.

auf 8 Grade erwärmt ist. Hier wendet er sich ganz östlich und zum Theil sogar südöstlich nach den Azorischen Inseln. Der erste Theil erreicht die Europäische Küste, namentlich Irland, woselbst er während des Winters die milde Temperatur veranlafst, die im auffallendsten Gegensatze mit der Kälte an der Amerikanischen Küste von Labrador steht, obwohl beide unter gleichem Breitengrade liegen. Hier sind die Winter viel strenger und anhaltender, als im nördlichen Deutschland, während in Irland, wie bekannt, die Myrthe ein Gartengewächs ist, das keines Schutzes bedarf. Doch auch andre Küsten von Europa empfinden den wohlthätigen Einfluſs des Golf-Stromes. Er tritt in den Canal zwischen England und Frankreich ein, umströmt andrerseits die Hebridischen Inseln, erreicht die Küste von Norwegen, und selbst in Nova-Zembla und Spitzbergen wird die Temperatur durch ihn gemildert.

Derjenige Theil des Golf-Stromes, der sich vor der Bank bei Neufundland südöstlich nach den Azoren wendet, oder schon früher diese Richtung annahm, streicht den Canarischen und Cap-Verdischen Inseln vorbei und tritt hier in die bereits erwähnte Aequatorial-Strömung wieder ein, die ihn aufs Neue dem Mexicanischen Meerbusen zuführt. So bildet sich zwischen Nord- und Süd-Amerika und Africa mitten im Atlantischen Ocean ein vollständiger Kreislauf des Wassers, und in der Mitte desselben, wo die Bewegung fast ganz aufhört, ist die Oberfläche in einer Ausdehnung, die der von ganz Europa nahe gleichkommt, mit schwimmendem See-Tang bedeckt, die ihr das Ansehn einer Wiese giebt. Diese Stelle nennt man das Sargasso-Meer.

Fragt man nach der Ursache, weshalb der Golfstrom vor der Küste von Nord-Amerika sich ostwärts wendet, so ist die Antwort dafür von A. v. Humboldt gegeben und dieselbe findet auch auf die übrigen Meeres-Strömungen entweder unmittelbar oder im entgegengesetzten Sinne Anwendung. Das Wasser, welches im Golf von Mexico sich ansammelt, hat hier beinahe die hohe Umdrehungs-Geschwindigkeit der Erde, die dem 24. Breitengrade entspricht, angenommen. Indem es von hier nordwärts fliefst, gelangt es in höhere Breiten, wo die Umdrehungs-Geschwindigkeit der Erd-Oberfläche geringer wird. Diese ist auf der Bank von Neufundland bedeutend kleiner, als im Mexicanischen Meerbusen, beide verhalten sich zu einander etwa wie 9 zu 7. Das Wasser eilt daher in

östlicher Richtung der Erde voran, oder der Strom wendet sich ostwärts.

Einen wesentlichen Einfluſs auf alle diese Strömungen übt aufserdem die verschiedene Erwärmung des Wassers aus. Zwei Wassermassen, von denen eine stärker erwärmt und daher specifisch leichter ist, als die andere, können in freier Berührung sich nicht das Gleichgewicht halten. Wären sie durch eine Scheidewand von einander getrennt, die nur am Boden mit einer Oeffnung versehn ist, so könnte, von der Mittheilung der Wärme abgesehn, das Gleichgewicht eintreten, indem die wärmere Masse einen höheren Stand annimmt, also vor der Oeffnung auf beiden Seiten ein gleicher Druck sich darstellt. Sobald aber die Scheidewand entfernt, oder die Verbindung in der Oberfläche dargestellt wird, so wird hier das höhere Niveau des wärmeren Wassers überfliefsen. Ganz abgesehn von der Drehung der Erde müssen sich daher in grofsen Meeren zwei Ströme bilden, von denen der obere nach dem Pole und der untere, nahe über dem Meeresgrunde, nach dem Aequator gerichtet ist. Diese beiden Ströme werden aber aufser der nördlichen oder südlichen Richtung, die sie ursprünglich haben, in Folge der Umdrehung der Erde noch östlich oder westlich sich wenden, je nachdem sie nach einem Pole oder nach dem Aequator gerichtet sind.

Auch im Atlantischen Ocean giebt es einen solchen von Norden nach Süden gerichteten kalten Strom, der theils auf der Ostseite von Grönland und theils durch die Davis-Strafse eintritt, und in Folge des südlichen Laufes in den niedrigeren Breitengraden sich westwärts wendet. An der Grenze der Bank von Neufundland begegnet er dem warmen Golf-Strome und kreuzt denselben, indem er am Grunde des Meeres unter ihm fortgeht. Er führt die gewaltigen Eisberge mit sich, welche auf dem Wege zwischen Europa und Nord-Amerika so sehr gefürchtet werden. Diese tauchen so tief ein, dafs sie von dem unteren kalten Strome noch mehr, als von dem oberen getrieben werden, und sich daher scheinbar mit grofser Geschwindigkeit durch das Wasser bewegen. Die Schiffe, die nur der Einwirkung des obern Stromes ausgesetzt sind, werden daher mit Heftigkeit gegen diese Eismassen getrieben, und die Gefahr des Zusammenstofses ist um so gröfser, als die starke Abkühlung der Temperatur meist dichte Nebel veranlafst, welche das antreibende Gebirge nicht erkennen lassen.

Bei der grofsen Ausdehnung der Schiffahrt hat man in neuerer Zeit noch mehrere ähnliche, theils warme und theils kalte Strömungen entdeckt, unter denen hier nur einer auf der südlichen Hemisphäre erwähnt werden mag, der nach seinem Entdecker der Humboldt-Strom genannt wird. Er verfolgt die westliche Küste von Süd-Amerika vor Chili und Peru. Seine Temperatur beträgt selbst in der heifsen Zone nur $12\frac{1}{2}$ Grade Réaumur, während das Meer daselbst um volle 10 Grade wärmer ist. Sein Einfluſs auf das Klima der Küsten-Länder ist daher auch nicht zu verkennen. Er verläfst das Ufer nicht früher, als bis dasselbe unter dem 5. Grade südlicher Breite sich von Nord-West nach Norden wendet. Hier nimmt er die westliche Richtung an und bildet den Anfang der Aequatorial-Strömung im Stillen Ocean.

Endlich mufs noch auf eine Meeres-Strömung hingewiesen werden, die, wenn sie vergleichungsweise zu den bezeichneten auch sehr geringfügig ist, und sogar häufig durch entgegenstehende Winde ganz zurückgedrängt wird, dennoch dem Preufsischen Baumeister weit näher liegt, indem sie den wesentlichsten Einfluſs auf die Ausbildung der Ostsee-Küste ausgeübt hat und noch ausübt. Ihre Wirkungen fordern sowol bei Hafen-Anlagen als beim Schutze der Seeufer die höchste Beachtung.

Auf der Preufsischen Ostsee-Küste wiederholt sich mehrfach die Haff-Bildung. Weite Buchten, die vielleicht in frühester Zeit weniger vom Meere getrennt waren, sind durch lange schmale Landzungen, Nehrungen genannt, von demselben geschieden. Am vollständigsten zeigt sich dieses in der Provinz Ost-Preufsen, wo das Frische und das Curische Haff bis auf je eine sehr schmale Oeffnung von der See getrennt sind. Auch die Bucht vor Danzig ist von der Westseite aus durch eine ähnliche Nehrung zum Theil abgeschlossen, doch tritt diese nicht bis in die Nähe des gegenüberliegenden Ufers, vielmehr läfst sie eine 5 Meilen breite Oeffnung noch frei, so dafs sie, wie es scheint, nur den Anfang einer Haff-Bildung bezeichnet. Ueber die Ursache dieser auffallenden Begrenzungen des Meeres wird später bei Gelegenheit der Seeufer die Rede sein, sie werden hier nur wegen der eigenthümlichen Erscheinung erwähnt, dafs alle drei Nehrungen auf der westlichen oder südwestlichen Seite sich an das feste Land anschliefsen und die Verbindung mit der See auf der östlichen oder nördlichen Seite statt findet.

Dabei mufs aber darauf aufmerksam gemacht werden, dafs dieses im vollen Maafse auch bei dem Frischen Haffe statt findet, denn wenn an die Mündung desselben von der Nordseite her eine ähnliche Landzunge entgegentritt, so besteht diese doch nicht aus aufgeschwemmtem Sande, vielmehr aus gewachsenem Thonboden, der in geringer Entfernung von Pillau schon zu Tage liegt.

Hierzu kommt, dafs die Sand- und Kiesablagerungen vor scharf vortretenden Ufer-Ecken, wie vor Darserort, ohnfern der Mecklenburgischen Grenze, und vor Brüsterort auf der nordwestlichen Ecke des Samlandes, gleichfalls Richtungen haben, welche denen der Nehrungen entsprechen.

Gewifs ist die Voraussetzung sehr gegründet, dafs bei diesen Nehrungen, so wie auch bei den Hacken, die übereinstimmenden Richtungen durch eine gemeinsame Ursache veranlafst sind, und solche kann nicht füglich eine andre sein, als die Strömung, die längs der Pommerschen Küste und vor dem Danziger Regierungs-Bezirke von Westen nach Osten gerichtet ist, die sich von hier aber, indem sie dem Ufer folgt, nordwärts wendet. Der Zusammenhang zwischen der Küstenströmung und der Sandablagerung wird später nachgewiesen werden.

Aufserdem giebt es noch vielfache Thatsachen, welche das Vorhandensein der bezeichneten Küstenströmung unzweifelhaft darthun. Die Steindämme oder Molen, welche die Mündungen unserer Häfen von beiden Seiten einschliefsen, versanden an der westlichen oder südlichen Seite stärker, und hier rückt der Strand in Folge dessen weit schneller vor, als an der entgegengesetzten Seite. Wenn man bei ruhiger Witterung den ausgehenden Strom bei Pillau beachtet, so bemerkt man sehr deutlich, dafs er sich sogleich nordwärts wendet, und alle darauf schwimmende Körper werden in derselben Richtung getrieben. Es wird auch stets Klage geführt, dafs die Seebäder auf der Nordseite von Pillau oft süfses Wasser haben, während vor der gegenüberliegenden Nehrung und zwar unmittelbar neben der Mündung des Haffes das Seewasser ganz rein ist.

Wenn diese Umstände die Existenz eines vorherrschenden Küstenstromes schon früher aufser Zweifel stellten, so hat dieselbe noch eine auffallende Bestätigung gefunden, die zugleich unmittelbar die Veranlassung dieses Stromes nachweist. Im Sommer 1834 maafs Alexander von Humboldt auf einer Seereise von Swinemünde nach

Königsberg die Temperatur des Wassers. Dieselbe war bei Swinemünde $18\frac{1}{2}$ Grad Réaumur, bei Treptow $16\frac{1}{4}$ Grad, zwischen Leba und Rixhöft sank sie plötzlich auf $9\frac{1}{2}$ und sogar bis 9 Grade herab, während sie östlich von Hela wieder $17\frac{3}{4}$ Grade gefunden wurde. Die starke Abkühlung des Wassers neben der vortretenden Ufer-Ecke zwischen Leba und Rixhöft konnte natürlich nur die Folge eines hier eintretenden kalten Stromes sein, der sich wahrscheinlich in geringerem Maafse, wie die vorhergehende Beobachtung andeutet, schon weiter westlich bemerken liefs. Ueber den Ursprung dieses kalten Stromes kann man nicht zweifelhaft sein, er bewegt sich längs der östlichen Küste Schwedens von Norden nach Süden und trifft, indem er zwischen den Inseln Oeland und Gottland hindurch geht, den bezeichneten Theil der Preufsischen Küste. Sein Einflufs auf die klimatischen Verhältnisse hat sich seitdem auch herausgestellt, indem die mittlere Temperatur bei Neustadt merklich geringer, als an andern Beobachtungsorten in der Umgebung ist.

Die Ostsee in Verbindung mit dem Bothnischen Meerbusen erstreckt sich von Süden nach Norden und zwar vom 54. bis zum 66. Breitengrade, ihre Ausdehnung in dieser Richtung umfafst also 12 Grade und es kann nicht fehlen, dafs sehr bedeutende Temperatur-Differenzen zwischen beiden Endpunkten statt finden. Es wird also eine südliche kalte und eine nördliche warme Strömung eintreten müssen. Die erste bewegt sich in einer Richtung, wo die Umdrehungs-Geschwindigkeit der Erde gröfser wird, sie kann derselben nicht folgen und wird daher an das westliche Ufer der Ostsee gedrängt, die zweite dagegen gelangt in Gegenden, wo diese Geschwindigkeit geringer wird, sie eilt also der Erde voran und lehnt sich an die ostwärts belegenen Ufer. Hierdurch erklärt sich nicht nur die nördliche Strömung vor Pillau und Memel, sondern auch die östliche längs der Pommerschen Küste bis zur Bucht vor Danzig.

§. 11.

Meerestiefen, Salzgehalt und erdige Beimengungen des Seewassers.

Mäfsige Tiefen des Meeres werden, wie bereits im zweiten Theile dieses Handbuches §. 60 erwähnt ist, mit dem gewöhn-

lichen Lothe gemessen. Die Beschreibung der sehr einfachen Einrichtung desselben ist schon gegeben worden. Bei gröfseren Tiefen und namentlich wenn man durch die Sondirung zugleich die Beschaffenheit des Grundes erkennen will, so dafs der Sand oder die Muscheln an dem Talgklumpen haften sollen, den man in die Höhlung der untern Fläche des Lothes eingestrichen hat, darf man das Letztere nicht mehr während der Fahrt auswerfen, das Schiff mufs vielmehr angehalten werden, oder die Lothung erfolgt von einem Boote aus. Bei sehr grofser Tiefe führt indessen auch diese Vorsicht zu keinem Resultate. Die Leine mufs nämlich hinreichend stark sein, damit man an ihr das Loth wieder heben kann, sie mufs auch specifisch schwerer, als das Seewasser sein, weil sie sonst bei gewisser Tiefe das weitere Herabsinken des Lothes verhindern würde. Hierdurch vermehrt sich nach und nach das Gewicht, welches der letzte Theil der Leine zu tragen hat, so sehr, dafs diese endlich zerreifst. Namentlich geschieht dieses, wenn das Loth an sich schon ein bedeutendes Gewicht hat, ein solches ist aber nothwendig, weil es sonst nicht schnell genug herabsinken, vielmehr der Faden durch die Strömungen, die er in den verschiedenen Wassertiefen antrifft, seitwärts ausgezogen werden würde. Indem man früher stets der Ansicht folgte, dafs an der Leine das ganze, schwere Loth wieder gehoben werden müsse, und daher diesem das nöthige Gewicht nicht gegeben wurde, so ist vielfach der Irrthum vorgekommen, dafs Stellen im Meere, die namentlich von heftigen Strömungen getroffen werden, unmefsbar tief zu sein schienen, weil die Lothleine ihrer grofsen Länge unerachtet bei jedem Versuche vollständig auslief, während spätere Messungen eben daselbst doch nur sehr mäfsige Tiefen ergaben, die mit jenen Leinen bald hätten erreicht werden müssen.

Der Versuch, die Leine so zu befestigen, dafs sie sich von selbst vom Lothe löst, sobald dieses den Grund berührt, war in sofern sehr mifslich, als nicht nur die wichtige Frage in Betreff der Beschaffenheit des Meeresgrundes alsdann ganz unbeantwortet blieb, sondern aufserdem war es auch jedesmal zweifelhaft, ob das Loth wirklich den Boden erreicht, oder ob vielleicht in Folge anderer Zufälligkeiten es sich von der Leine gelöst hatte.

Die Einrichtung, welche man gegenwärtig meist als die zweckmäfsigste zur Messung grofser Wassertiefen ansieht, ist der von

Brooke angegebene Apparat. Er beruht darauf, dafs der überwiegend gröfste Theil des Gewichtes sich vom Lothe löst, sobald dieses auf den Grund stöfst, der übrig bleibende geringe Theil desselben bleibt aber an der Leine befestigt und bringt die Proben des Bodens mit herauf, die daran haften, oder auch wohl durch besondere Vorrichtungen davon gefafst werden. Fig. 25 zeigt diesen Apparat, und zwar *A* in dem Falle, dafs die schwere Kugel daran noch hängt, also während des Herablassens, und *B* in der Stellung, die er annimmt, wenn das Loth in den Boden eindringt, und die Kugel sich bereits gelöst hat. Die massive eiserne Kugel ist nach Maafsgabe der erwarteten Tiefe 30 bis 60 Pfund schwer. Sie ist diametral durchbohrt, und das Loth, das aus einer starken Eisenstange besteht, und unten mit der Oeffnung zum Einstreichen des Talges versehn ist, reicht durch die Kugel hindurch und hat soviel Spielraum, dafs es ohne Hindernifs aus derselben herausgezogen werden kann. An zwei beweglichen Armen ist es mit der Leine verbunden. Diese Arme sind aber noch mit zwei kurzen Nebenarmen versehn, auf welche Ringe aufgezogen werden, die mittelst zweier kurzen Leinen einen eisernen Ring tragen, auf dem die Kugel während des Herabsinkens ruht. Sobald der aus der Kugel vortretende untere Theil des Lothes auf den Boden aufstöfst, also die Lothleine schlaff wird, so zieht die schwere Kugel die beiden Arme herab, und dadurch verlieren die auf die Nebenarme gezogenen Ringe ihre Unterstützung, sie fallen nieder und mit ihnen zugleich die Kugel. Windet man nunmehr die Leine auf, so zieht sich das Loth durch die Kugel hindurch und folgt der Leine, während die Kugel auf dem Meeresgrunde liegen bleibt.

Man hat versucht, statt der gewöhnlichen Lothleinen seidene Schnüre, auch Eisendrähte zu benutzen, doch ist man zu den ersteren wieder zurückgekehrt. Man verfertigt dieselben in sehr grofsen Längen, so dafs sie zuweilen zwei Deutsche Meilen lang sind, und dennoch giebt es im Atlantischen Meere manche Stellen, wo man selbst mit diesen keinen Grund erreicht hat. Maury meint, dafs die tiefste Stelle zwischen dem 35. und 40. Grade nördlicher Breite und zwar im Süden der Bank von Neufundland sich befinde.*)

Dafs auch beim Gebrauche dieses Lothes Täuschungen leicht

*) The physical geography of the Sea. Cap. XII.

möglich sind, unterliegt keinem Zweifel. Die Leine darf nicht ganz schlaff nachgelassen werden, vielmehr mufs sie durch das Gewicht immer einigermaafsen gespannt bleiben, weil man sonst nicht unterscheiden kann, in welcher Tiefe das Loth den Grund erreicht. Nachdem Letzteres erfolgt ist, wird wieder die Leine von den Strömungen gefafst und indem sie seitwärts treibt, so zieht sie sich in ähnlicher Weise aus, als wenn das Loth noch frei herabsänke. Einigermaafsen kann man freilich aus der Gleichförmigkeit der Bewegung auf das dauernde Sinken des Lothes schliefsen, indem man die Zeit des Vorüberganges jedes Knotens beobachtet. Diese Knoten sind in Abständen von 100 Faden angebracht. Nach Maury's Mittheilung sinkt das Loth mit zunehmender Geschwindigkeit herab, so dafs es anfangs viel langsamer fällt als später, was wegen der zunehmenden Reibung des Fadens gegen das Wasser unerklärlich scheint.

Ein anderes Instrument, das bei den Tiefenmessungen vor der Amerikanischen Küste noch in neuster Zeit benutzt wurde, stimmt wesentlich mit dem längst bekannten Patent-Lothe überein. Das Instrument ist in einen flachen und breiten Behälter eingeschlossen, damit es beim Herabsinken keine drehende Bewegung annimmt. Aus dem obern Theile ragt eine Achse heraus, an der sich mehrere schraubenförmig gekrümmte Flächen oder Flügel befinden, die beim Niederfallen des Instrumentes sich umdrehn und, wie beim Woltman'schen Flügel, mehrere Zeiger in Bewegung setzen, welche die Anzahl der Umdrehungen jener Achse angeben. Am untern Ende ist eine Scheibe angebracht, die, sobald sie den Meeresgrund berührt, das erste Getriebe ausrückt, so dafs beim Wiederaufziehn des Instrumentes keine weitere Bewegung markirt wird. Saxton hat noch die Aenderung eingeführt, dafs aus der obern Fläche zwei Flügelwellen heraustreten, die sich in entgegengesetzten Richtungen mit gleichen Geschwindigkeiten drehen. Hierdurch wird die Drehung des ganzen Instrumentes, die demselben durch den einzelnen Flügel mitgetheilt werden könnte, vollständig aufgehoben.

Dieses Instrument hat ohne Zweifel manche Vorzüge vor dem obigen Lothe. Beim Herabsinken behält es seine aufrechte Stellung, wofür theils durch angemessene Vertheilung der Gewichte gesorgt werden kann, und theils geschieht dieses auch schon, indem die lange Leine specifisch leichter ist und eine bedeutende Reibung

im Wasser erfährt. In Folge dieser Stellung hängt die Drehung der Flügelwellen allein von dem Wege ab, der in vertikaler Richtung zurückgelegt wird, die horizontalen Versetzungen haben darauf keinen Einfluſs, und eben so wenig macht es auch einen Unterschied, ob das Instrument schneller oder langsamer herabfällt. Man läſst es daher möglichst frei fallen, indem man groſse Massen Leinen herabwirft. Ein Uebelstand ist nur, daſs es wegen seines Gewichtes eine starke Leine zum Aufholen nöthig macht, und daher bei den gröſsten Tiefen kaum noch zu gebrauchen sein dürfte. Auſserdem ist es schwierig, dabei die Vorrichtung zum Auffangen von Proben des Grundes anzubringen.

Das gewöhnliche Loth ist am Boden mit einer Oeffnung versehn, die sich nach innen erweitert, damit der Talgklumpen, den man einstreicht, darin fest haftet. Man läſst diesen Klumpen etwa 3 Linien weit vor den umgebenden Rand vortreten, damit er sich scharf auf den Grund des Meeres aufsetzt und kleinere Körper sich darin eindrücken und daran haften. Sand, Kies, kleine Muscheln u. d. gl. werden auf diese Art gefaſst und heraufgezogen. Ein fester Felsboden und gröſsere Steine lassen aber Eindrücke zurück, die ziemlich sicher auf die berührte Oberfläche schlieſsen lassen. Nur feiner Thonboden giebt sich in dem Talgklumpen wenig zu erkennen, indem dieser beim Einsinken in weichen Schlamm seine Form beinahe gar nicht verändert, auch nur selten einzelne Körnchen des letzteren daran haften.

Um in dieser Beziehung gröſsere Sicherheit zu erreichen, und um zugleich nicht gar zu kleine Proben des Grundes zu erhalten, hat man mehrfach und namentlich bei dem vorstehend beschriebenen Lothe von Brooke den eisernen Cylinder in seinem untern Ende auf eine gewisse Länge ausgebohrt und einen Ring eingesetzt, auf den ein Ventil von starkem Leder aufschlägt. Wenn die Röhre alsdann weit genug eindringt, und das Ventil sich wieder hinreichend dicht schlieſst, so werden bei feinem Seeboden gröſsere Massen eingeschlossen und zu Tage gefördert.

Eine nähere Mittheilung der an einzelnen Stellen der groſsen Meere gemessenen Tiefen erscheint entbehrlich, nachdem die äuſsersten Grenzen bereits als unerreichbar mittelst der bisher bekannten Methoden bezeichnet sind. Es muſs aber noch darauf aufmerksam gemacht werden, daſs die Messungen, welche vor der Versenkung

des Telegraphen-Cabels zwischen Europa und Nord-Amerika ausgeführt waren, sich später als ganz unrichtig erwiesen. Das Plateau, das nach Maury's Untersuchungen hier vorhanden sein sollte, und das vorzugsweise zum Auflager für das Cabel geeignet erschien, existirte gar nicht. Sonach berechtigen sich wohl einige Zweifel gegen die Resultate ähnlicher Untersuchungen.

Das specifische Gewicht und der Salzgehalt des Seewassers ist vielfach gemessen worden. In der heifsen Zone scheinen beide etwas gröfser, als in den höheren Breiten zu sein. Die Untersuchungen von Lenz,*) nach den auf der Reise von O. von Kotzebue angestellten Messungen, ergeben, dafs im Atlantischen Meere das specifische Gewicht des Seewassers etwas gröfser ist, als im Stillen Ocean, und dafs in beiden an gewissen Stellen Maxima vorkommen. Ein solches erreicht im Stillen Ocean nur das specifische Gewicht von 1,0280, während es im Atlantischen Meere bis auf 1,0285 steigt. Im letzteren wurde es bei 50° 25′ nördlicher Breite 1,0266 gemessen und dieses war das Minimum, das auf der ganzen Reise gefunden wurde. Die Differenzen sind sonach nicht bedeutend, doch zeigten sich sehr auffallende Abweichungen bei gleichen Breiten nach den verschiedenen geographischen Längen, und namentlich hatte im Atlantischen Ocean das Wasser in der Nähe der Amerikanischen Küste ein gröfseres specifisches Gewicht, als weiter ostwärts. Aufserdem ergaben sich auch an denselben Stellen merkliche Differenzen, je nachdem die Jahreszeiten verschieden waren. Wichtig ist ferner das Resultat, dafs in den niedrigeren Breiten und zwar bis zum 45. Grade, der Salzgehalt in verschiedenen Tiefen derselbe bleibt. Das specifische Gewicht des Wassers der Oberfläche unterschied sich nicht von demjenigen des Wassers, welches in 1000 Faden Tiefe geschöpft war.

Im Mittelländischen Meere ist der Salzgehalt in der Nähe der Oberfläche dem des Atlantischen Meeres nahe gleich, in grofser Tiefe dagegen viel bedeutender. Wollaston fand in dem ohnfern der Strafse von Gibraltar bei 4000 Fufs Tiefe geschöpften Wasser den Salzgehalt 17¼ Procent. Das specifische Gewicht des Nordsee-Wassers stimmt mit dem des Atlantischen Oceans ziemlich überein. Im Busen der Jade maafs ich dasselbe bei 8 Graden Réaumur, nach-

*) Poggendorff's Annalen. Band 20.

dem das Wasser in verschlossenen Gefäßen durch Filtriren von den erdigen Theilen gereinigt war. Dieses Gewicht variirte zwischen 1,0240 und 1,0233, und es erreichte etwa eine Stunde vor Hochwasser sein Maximum, was vielleicht davon herrührt, daſs alsdann das reinste Seewasser eingetreten war. Nichts desto weniger darf man wohl annehmen, daſs in dieser Gegend, wo Elbe und Weser in geringer Entfernung ausmünden, die Nordsee noch mit Flufswasser versetzt ist.

In der Ostsee ist der Salzgehalt viel geringer. Das specifische Gewicht des Seewassers, vor Colbergermünde geschöpft und zwar an einer Stelle, woselbst das Wasser der Persante nicht hinzutreten konnte, fand ich nur 1,0061.

Was die Zusammensetzung des Seewassers betrifft, so bildet das Kochsalz oder Chlor-Natrium den Hauptbestandtheil der Beimengung. Im Atlantischen und Stillen Ocean, so wie auch in der Nordsee beträgt dasselbe dem Gewichte nach etwa $2\frac{1}{2}$ Procent des Wassers. Aufserdem finden sich darin Chlormagnesium, Chlorkalium, schwefelsaurer Kalk, schwefelsaure Magnesie und andre Stoffe, die zusammen jedoch nur selten 1 Procent ausmachen.

Die Apparate, deren man sich bedient hat, um zu vorstehendem Zwecke das Wasser aus gröfseren Tiefen zu schöpfen, übergehe ich, dagegen mag die einfache Vorrichtung hier erwähnt werden, die ich benutzte, um in verschiedenen mäfsigen Tiefen des Jade-Busens das Wasser zu entnehmen, indem ich den Schlickgehalt desselben in den verschiedenen Perioden der Fluth und Ebbe zu bestimmen versuchte.*)

Das Instrument ist Fig. 26, *A* in der Seitenansicht und *B* im Durchschnitt dargestellt. Es besteht aus einem Blechcylinder, der nach Maafsgabe der Quantitäten, die ich untersuchen wollte, etwa 8 Zoll hoch war und 4 Zoll im Durchmesser hatte. Derselbe war oben wie unten mit einem festen Boden versehn, der untere war vollständig geschlossen, der obere dagegen hatte eine Oeffnung, gegen welche an der innern Seite ein Ventil sich legte. Die Achse dieses Ventils war oben wie unten durch einen Steg hindurch geführt, so daſs es sich nicht seitwärts verschieben konnte. Der obere

*) Monatsberichte der Königl. Academie der Wissenschaften zu Berlin. 1856. Seite 346 ff.

Steg bildete einen starken Bügel, an den eine Spiralfeder befestigt war, welche die Achse des Ventils herabzog, dasselbe also öffnete. An dem obern Ende dieser Achse, woran sich ein Ring befand, hing der ganze Apparat, und ein zweiter Ring war an den untern Boden angelöthet. In letzteren wurde die Leine geknüpft, die das Gewicht trug, welches den Cylinder versenkte. Beim Gebrauch des Instrumentes wurde zunächst das Gewicht in solcher Tiefe angebunden, als das Wasser über dem Grunde geschöpft werden sollte. Liefs man nun das Instrument herab, so hing dasselbe an der Achse des Ventils und dieses verschlofs die obere Oeffnung des mit Luft gefüllten Cylinders. Sobald indessen das Gewicht sich auf den Grund auflegte, so wurde die obere Leine schlaff, die Feder öffnete das Ventil, und durch die Oeffnung, die stets nach oben gekehrt blieb, entwich die im Cylinder enthaltene Luft und derselbe füllte sich mit Wasser. Zog man endlich das Instrument wieder herauf, so hob die Leine sogleich das Ventil, verschlofs dadurch die Oeffnung und eine Vermengung des Inhaltes mit den obern Wasserschichten konnte nicht eintreten.

Das Seewasser enthält im Allgemeinen keine erdigen Theilchen, welche dasselbe trüben, weil diese, wenn sie auch beim Abbruche der Ufer oder durch Ströme ihm zugeführt werden, in solcher Tiefe niederschlagen, dafs sie durch den Wellenschlag nicht wieder in Bewegung gesetzt und gehoben werden können. Anders verhält es sich jedoch in Buchten und solchen Meerestheilen, vor denen in mäfsiger Tiefe grofse Flächen alten Landes liegen. Auf diese wirkt sowol der Wellenschlag, als die Strömung der Ebbe und besonders der Fluth ein, und die erdigen Theilchen vermengen sich so stark mit dem Seewasser, dafs dieses durch sie vollständig getrübt wird. Sie schlagen nieder, sobald die Bewegung des Wassers aufhört oder sich mäfsigt, und sie sind es, welche die starken Verschlammungen der daselbst belegenen Häfen und das Anwachsen des Landes veranlassen. Die Kenntnifs der im Wasser schwebenden Theilchen ist daher für den Baumeister von grofser Wichtigkeit.

Mit dem bezeichneten Instrumente wurde wiederholentlich während voller Fluthperioden von Stunde zu Stunde und zwar theils an der Oberfläche und theils 6 Fufs über dem Boden Wasser geschöpft. Die Tiefe maafs an dieser Stelle bei Niedrigwasser etwa 30 Fufs. Zunächst versuchte ich, den Schlickgehalt aus dem speci-

fischen Gewichte des Wassers zu bestimmen, doch gelangte ich dabei zu keinen brauchbaren Resultaten, weil die Erdmasse zu klein war. Es mufste demnach das gewöhnliche Verfahren gewählt werden, wobei das Wasser filtrirt und der im Filtrum bleibende Rückstand gewogen wird. Doch auch hierbei war grofse Vorsicht und Sorgfalt nothwendig.

Die aufgebrachten und in Flaschen gefüllten Proben hielten zwischen 10 und 25 Cubikzoll, ihr Rauminhalt wurde, nachdem ihr specifisches Gewicht ermittelt war, durch Abwägen bestimmt, und es darf kaum erwähnt werden, dafs durch starkes Schütteln vor dem Umfüllen jedesmal dafür gesorgt wurde, dafs das Wasser gleichmäfsig und zwar in demselben Maafse, wie beim Schöpfen, mit den erdigen Theilchen sich vermengte.

Die Filter, die aus demselben Papiere sämmtlich in gleicher Gröfse ausgeschnitten waren, wurden vor dem Gebrauche in lufttrockenem Zustande einzeln gewogen. Da es jedoch auf eine sehr scharfe Wiegung ankam, indem die später in den Filtern zurückbleibende Erde nie mehr, als 30, und oft sogar nur 10 Milligramme wog, so durfte nicht unbeachtet bleiben, dafs die Filter schon während des Wiegens wieder einige Feuchtigkeit aus der Luft anziehn. Um dieses zu erkennen, wurden sie zweimal gewogen und zwar das zweite Mal in umgekehrter Reihenfolge, so dafs die arithmetischen Mittel aus beiden Abwägungen jedes Filters die Gewichte von allen in einem nahe gleich trocknen Zustande darstellten. Um indessen zu erkennen, ob dieselben Filter beim spätern Wiegen, während die erdigen Theilchen sich schon darin befinden, denselben Grad von Trockenheit angenommen haben, und ob vielleicht das Salz aus ihnen noch nicht vollständig ausgelaugt ist, so wurden jedesmal noch 2 und oft sogar 3 Filter von derselben Art hinzugefügt und gleichmäfsig zwischen die übrigen vertheilt. Sie wurden nicht zum Filtriren benutzt, vielmehr liefs ich nur das bereits filtrirte Seewasser hindurchfliefsen. Bei diesen wurde also das Gewicht durch hinzukommende erdige Theilchen nicht vermehrt, und sie sollten daher beim spätern Wiegen genau dieselben Gewichte wieder zeigen, die sie anfangs gehabt hatten. War dieses nicht der Fall, so konnte man annehmen, dafs entweder die Auslaugung nicht vollständig erfolgt, oder dafs der hygroskopische Zustand der Luft gegenwärtig ein andrer, als das erste Mal, wäre, und bei der ganz übereinstim-

menden Behandlung aller Filter durfte vorausgesetzt werden, dafs wenn die letzteren sämmtlich gleiche Differenzen gegen die erste Wägung zeigten, dafs alsdann auch die übrigen Filter dieselbe Veränderung erfahren hatten. Die später gefundenen Gewichte der mit Erde gefüllten Filter konnten also hiernach berichtigt werden. Die Unterschiede waren jedesmal überaus geringfügig.

Nach Beendigung der Filtration wurden alle Filter unter sorgfältiger Beachtung ihrer Reihenfolge (da auffällige Bezeichnungen daran nicht füglich anzubringen waren) vorsichtig zusammengelegt, damit der daran haftende Schlick nicht etwa entweichen möchte, und nunmehr wurden sie in einem geräumigen Glasgefäfse mit destillirtem Wasser übergossen. Letzteres wurde nach einer Stunde mittelst eines Hebers abgezogen und durch frisches ersetzt, und dieses geschah so oft, bis das abfliefsende Wasser beim Verdampfen in einem Löffel keinen Rückstand übrig liefs, also von Salz frei war.

Nunmehr wurden die Filter in einem kupfernen Gefäfse getrocknet, welches durch Wasserdämpfe erwärmt, keine höhere Temperatur als die des siedenden Wassers annehmen konnte. Endlich wurden die Filter wieder zweimal und zwar das zweite Mal in umgekehrter Reihenfolge gewogen, und dadurch ergaben die Differenzen gegen die früheren Gewichte, die Gewichte der in den Filtern aufgefangenen Schlickmassen.

Von den Gewichten mufste endlich zum Rauminhalte übergegangen werden, weil es darauf ankam, die Höhe der Aufschlickung zu ermitteln, die im Laufe eines Jahres erfolgen konnte. Dieser Uebergang erforderte eine gewisse Voraussetzung über die Consistenz des abgelagerten Schlicks. Derselbe zeigt nämlich im natürlichen Zustande sehr verschiedenartige Beimengungen von Wasser. Seine oberen Schichten sind dünnflüssig, weiter abwärts werden sie dichter und fester und nehmen in der Tiefe sogar eine sehr grofse Härte an. Mit Rücksicht auf den Zweck der Untersuchung schien es angemessen, eine breiartige Consistenz zum Grunde zu legen, derjenigen gleich, welche der Töpfer beim Verarbeiten des Thones wählt. Es ergab sich aus mehrfach wiederholten Messungen, dafs 1 Gramm lufttrockener Schlick, der also denselben Grad der Trockenheit, wie die Filter beim Wiegen hatte, durch angemefsnen Zusatz von filtrirtem Seewasser in solchem breiartigen Zustande ein Volum von 0,05263 Rheinländischen Cubikzollen einnimmt.

In der nachstehenden Tabelle sind die Resultate dieser Untersuchung angegeben. Das in den verschiedenen Stunden der ganzen Fluthperiode sowol in der Oberfläche, als 6 Fufs über dem Grunde geschöpfe Seewasser enthält diejenige Quantität erdiger Theilchen, welche die Tabelle angiebt. Diese Zahlen bezeichnen das Raum-Verhältnifs derselben, wenn sie jene breiartige Consistenz angenommen haben, zum Volum der Wassermasse, worin sie schwebten. Diese Zahlen geben daher auch unmittelbar die Höhen des Niederschlages an, der aus einer Wasserschicht von 1 Fufs Höhe sich abscheidet, während die vollständige Klärung erfolgt, und zwar sind die Höhen in derselben Maafs-Einheit, also in Fufsen ausgedrückt.

Zeit.	Schlickgehalt	
	in der Oberfläche.	6 Fufs über d. Grunde.
Niedrigwasser . .	0,00014	0,00016
1 Stunde Fluth . .	0,00019	0,00023
2 Stunden -	0,00019	0,00026
3 - -	0,00015	0,00024
4 - -	0,00012	0,00020
5 - -	0,00011	0,00016
Hochwasser . . .	0,00010	0,00013
1 Stunde Ebbe . .	0,00010	0,00012
2 Stunden -	0,00010	0,00012
3 - -	0,00010	0,00012
4 - -	0,00012	0,00012
5 - -	0,00013	0,00013
Niedrigwasser . .	0,00014	0,00016

Der Schlickgehalt ist sonach in der Nähe des Grundes um den fünften bis dritten Theil gröfser, als an der Oberfläche. Während der Fluth ist er gröfser, als während der Ebbe, und sein Maximum erreicht er in den ersten Stunden der Fluth, wogegen er bald nach dem Hochwasser den kleinsten Werth annimmt. Letzteres rührt ohne Zweifel davon her, dafs die Wattgründe im Jade-Busen wegen der daselbst statt findenden schwächeren Bewegung nicht nur weniger angegriffen werden, sondern sogar mit einer dünnen Lage des Niederschlages sich überdecken, wodurch das Wasser etwas gereinigt wird.

Aehnliche Resultate haben sich auch für die untere Elbe aus den Untersuchungen von Hübbe ergeben,*) die sich auf viel ausgedehntere Messungen beziehn und grofse Verschiedenheiten für verschiedene Epochen nachweisen.

Die Messungen, deren Resultate vorstehend angeführt sind, wurden im Spätherbste bei ziemlich ruhiger Witterung während schwacher südlicher und östlicher Winde angestellt, wobei also das Wasser im Jade-Busen vergleichungsweise zu dem der Nordsee stärker bewegt war, als bei nördlichen Winden.

Es mufs noch angeführt werden, dafs ich zur bequemeren Fortsetzung dieser Beobachtungen und um das mühsame Filtriren und Wägen zu vermeiden, einen Apparat vorrichtete, mittelst dessen der Schlickgehalt des Wassers sehr leicht, wenn auch nur annähernd richtig bestimmt werden konnte. Ich suchte nämlich aus einer grofsen Anzahl cylindrischer kleiner Flaschen von reinem weifsen Glase achtzehn Stück aus, welche gleichen Durchmesser (nahe von 3 Zoll) hatten. Sechszehn derselben füllte ich mit Mischungen von filtrirtem Seewasser und sehr feinem durch Niederschlag gewonnenen Schlick an. Das Raumverhältnifs des letzteren nach den obigen Voraussetzungen zum Wasser betrug in den einzelnen Flaschen 0,00005 — 0,00010 — 0,00015 u. s. w. Die Flaschen wurden aber nicht vollständig, sondern nur zu zwei Drittel ihres Inhaltes angefüllt, damit sie vor dem jedesmaligen Gebrauche stark geschüttelt werden konnten und ihr Inhalt die entsprechende Trübung vollständig annahm. Sie wurden hierauf hermetisch verschlossen. Die beiden letzten Flaschen dienten zur Aufnahme desjenigen Wassers, dessen Schlickgehalt ermittelt werden sollte. Der Unterschied in der Trübung ist bei den geringen Abstufungen der Zusätze zwar nicht auffallend, derselbe läfst sich jedoch, wenn man bei hinreichend starker Beleuchtung nach dahinter befindlichen Gegenständen hindurchsieht, sicher erkennen, und so bietet dieser Apparat ein bequemeres Mittel, um aus der Trübung des Wassers auf den Schlickgehalt zu schliefsen.

Die hiermit angestellten Versuche ergaben, dafs auch bei westlichen Winden der stärkste Schlickgehalt im Anfange der

*) Ueber die Eigenschaften und das Verhalten des Schlick's. In der Zeitschrift für das Bauwesen. Jahrgang X. Seite 492 ff.

Fluth vorkommt. Nach einer Messung stellte derselbe sich bis auf 0,00035.

Aus diesen Resultaten, verbunden mit dem bekannten Steigen des Wassers in jeder Stunde der Fluth, kann man leicht die Höhe des Niederschlages berechnen, der sich im Jade-Busen oder in einem damit in Verbindung stehenden Bassin, (also etwa in einem Vorhafen) bilden würde, falls das Wasser darin sich vollständig klärte, so dafs es bei der Ebbe ganz rein abfliefst. Je nachdem man den Schlickgehalt des an der Oberfläche oder des über dem Boden geschöpften Wassers zum Grunde legt, ergiebt sich hieraus, dafs jede Fluth eine Schicht von 0,00187 oder 0,00264 Fufs, dafs also die 705 Fluthen in einem Jahre Schichten von 1,32 oder 1,86 Fufs Höhe bilden würden. In der Wirklichkeit ist indessen selbst in einem geschützten Bassin eine so starke Verflachung nicht zu besorgen, da eines Theils die Zwischenzeit zu kurz ist, um die vollständige Klärung zu bewirken, und andern Theils auch die Strömungen und die einlaufenden Wellen das Wasser nicht vollständig zur Ruhe gelangen lassen. In dem weiten Busen der Jade, wo die starke Bewegung selten aufhört, ist der Niederschlag sehr viel geringer, wie dieses auch nicht anders sein kann, da nach denselben Beobachtungen grofse Schlickmassen bei der Ebbe wieder herausgeführt werden.

Hierbei wäre noch zu erwähnen, dafs der trockne Schlick an der Jade nach der Analyse des verstorbenen Dr. R. Hagen die nachstehenden Bestandtheile, und zwar in Procenten des Gewichtes ausgedrückt, enthält:

65,2 Kieselerde
4,2 Thonerde
6,9 Eisen- und Mangan-Oxyd
3,5 Kalkerde
1,3 Bittererde
1,4 Kali
1,5 Natron
1,4 Chlor
14,3 Wasser, Kohlensäure und organische Substanzen.

Bei Betrachtung der eigenthümlichen Erscheinungen, die sich am Meere zeigen, mufs endlich noch des Einflusses gedacht werden, den die chemische Zusammensetzung des Seewassers auf die Pflanzen-

und Thierwelt ausübt, und dieses um so mehr, als beim Uferschutz und beim Hafenbau beide von der äufsersten Bedeutung sind.

Die Vegetation am Meeresstrande ist wesentlich verschieden von derjenigen, die sich an den Ufern der Ströme im Binnenlande vorfindet. Soweit die Wellen beim Sturme auflaufen, gedeiht die Weide nicht, doch finden sich hier Gräser und Kräuter vor, die man landeinwärts nur vereinzelt wachsen sieht, und welche zur Sicherung und weitern Ausdehnung der Sandablagerungen mit grofsem Nutzen cultivirt werden können. Bei Gelegenheit des Dünenbaues wird hiervon ausführlicher die Rede sein.

Unter den Thieren, die sich in der See vorfinden, wären hier einige Arten Muscheln zu erwähnen, welche in den Fugen der Steinschüttungen so wie auch der Abpflasterungen sich ansetzen und dieselben oft so vollständig füllen, dafs durch sie ein sehr inniger Schlufs der Oberfläche dargestellt wird, und die Steine alsdann so sicher und fest gelagert sind, dafs sie von den Wellen nicht mehr bewegt werden können.

Ein anderes Thier, der Seewurm, ist dagegen den Bauwerken höchst verderblich und zerstört das Holz so schnell und so vollständig, dafs man dasselbe an manchen Orten gar nicht anwenden darf, oder wo dieses doch nöthig ist, es vollständig mit andern Stoffen verkleiden mufs. Unter der Benennung Seewurm versteht man zwei einander ziemlich ähnliche Thierarten, teredo navalis und limnoria terebrans. Erstere wird am meisten gefürchtet, und kommt in der Nordsee, in dem Atlantischen Ocean und dem Mittelländischen Meere vorzugsweise vor, letztere dagegen findet sich mehr an der Englischen Küste. Auffallend ist es, dafs der Wurm in früherer Zeit in Europa unbekannt war, in Holland, wo er seit hundert Jahren periodisch die gröfsten Zerstörungen verursacht hat, zeigte er sich zuerst im Jahre 1731. Vielleicht wurde er durch Schiffe eingeführt, denn in diesen und namentlich wenn sie aus südlichen Häfen zurückkehrten, fand man schon früher sehr häufig den Wurm vor, woher das Bekleiden der Schiffe mit Kupfer auch vor dieser Zeit schon üblich war. Das Verkupfern hat aber vorzugsweise den Zweck, das Schiff vor dem Wurme zu schützen.

Der Seewurm ist, wenn er ausgewachsen ist, etwa 6 Zoll lang und so dick, wie eine starke Federpose. Er ist von weifser Farbe, ganz weich und erscheint wie eine schleimige Masse, sein Kopf

dagegen endet in eine hornartige, sehr feste und scharfe Schale, die in eine breite gekrümmte Schneide, ähnlich dem gewöhnlichen Löffelbohrer ausläuft. Sehr auffallend ist es, dafs man in der äufsern Oberfläche des Holzes, in dem er sich aufhält, nie Oeffnungen bemerkt, die seiner Dicke entsprechen, es befinden sich darin vielmehr nur einige sehr feine Löcher, als wenn sie mit einer Stecknadel eingestochen wären. Er mufs also im Holze selbst auswachsen. Im Mittelländischen Meere nimmt er viel gröfsere Dimensionen, als an der Nordsee an, so wurde mir in Ciotat erzählt, dafs man in den dortigen Hellingen, die eben wegen des Wurmes alle zwei Jahre erneut werden müssen, häufig Würmer von 6 Fufs Länge und in der Stärke eines Daumens vorfindet.

Nach den Wahrnehmungen an der Jade folgen die Bohrlöcher gemeinhin der Holzfaser, sie sind bis 3 Linien weit und mit einer sehr glatten und festen Kalkschale überzogen, so dafs sie wie glasirt erscheinen. Sie setzen sich mehrere Fufs tief unter das Niedrigwasser fort, gehen aber nie bis zur gewöhnlichen Fluthhöhe herauf. In Holland hat man bemerkt, dafs bis zu derjenigen Höhe, zu der der Klaiboden heraufreicht, das Holz stets ganz unversehrt bleibt. Diese Löcher befinden sich nun in stark angegriffenem Holze parallel neben einander und oft so nahe, dafs nur die Kalkschale die Zwischenwand bildet. Eine Bootstreppe an der vorspringenden Ufer-Ecke an der Jade wurde, nachdem sie einen Sommer hindurch benutzt war, im Herbste von den Wellen zerschlagen. Das Holz der Wange hatte ganz das Ansehn der Zellen eines Bienenstocks: dicht neben einander lagen die Oeffnungen, und die Zwischenwände waren auf das geringste Maafs reducirt. In gleicher Weise wurden auch die Köpfe der Pfähle angegriffen, welche durch die Stacken oder Buhnen geschlagen waren, die vom Oldenburgischen Ufer den Strom entfernen sollten. Das Holz war so zerstört, dafs diese Köpfe von etwa 6 Zoll Stärke durch die Wellen abgebrochen wurden, und es machte hierbei gar keinen Unterschied, ob Kiefern, oder Eichen, Birken oder irgend eine andre Holzart angewendet war.

Am stärksten waren die Zerstörungen immer da, wo eine recht kräftige Strömung reinen Seewassers vorbeizog. An den Einfassungen der neben belegenen Siele, selbst an der Seeseite, konnte man keinen Wurm bemerken und bei Reparaturen zeigte sich deutlich, dafs er daselbst ganz fehlte. Das ausfliefsende süfse Binnen-

wasser verhinderte also sein Eindringen. Die Erfahrung hat aber auch hier gezeigt, dafs er periodisch übermäfsig sich verbreitet, und alsdann mehrere Jahre hindurch nur in viel geringerem Maafse sich zeigt. Welche besondere Umstände hierauf Einfluſs haben, ist nicht bekannt.

In der Ostsee kommt der Wurm gar nicht vor, gewifs ist der Salzgehalt des Wassers für ihn zu geringe. Dieser Umstand ist für die Bauten an der Ostsee überaus vortheilhaft und gestattet hier einfache Holz-Constructionen, die man in der Nordsee und an andern Meeren nicht wählen darf. Wo der Wurm sich zeigt, mufs alles Holz, dessen Verwendung sich nicht umgehn läfst, mit Metall oder wenigstens mit Leder bekleidet werden. Die Benutzung von Kupferplatten, in gleicher Weise, wie bei den Schiffen, kommt bei Schleusenthoren, hölzernen Schlagschwellen und selbst bei Pfählen vielfach vor, noch häufiger werden dazu aber in den Niederlanden die sogenannten Spieker, das heifst kurze eiserne Nägel mit sehr grofsen flachen Köpfen verwendet, die man so dicht neben einander einschlägt, dafs die Köpfe sich gegenseitig überdecken und sonach die Oberfläche des Holzes mit dem Wasser gar nicht in Berührung kommt. Die Versuche, das Holz mit Creosot oder Metall-Oxyden vor der Verwendung zu imprägniren, haben keinen dauernden Erfolg gehabt. Es scheint, dafs in kurzer Zeit eine so vollständige Auslaugung statt findet, dafs diese Art des Schutzes sehr bald unwirksam wird. Dagegen sollen lange Erfahrungen bereits den Beweis geliefert haben, dafs das Holz einer besondern Eiche, Eucalyptus genannt, die im westlichen Australien wächst, vom Seewurme nicht angegriffen wird. Dieses Holz soll auch von der weifsen Ameise, die unter den Tropen auf dem Lande eben so zerstörend wirkt, wie der Seewurm im Wasser, nicht berührt werden.*)

Schliefslich wäre noch zu bemerken, dafs der Seewurm nicht nur Holz, sondern auch manche Steine, wie Kalk und weicheren Sandstein, durchbohrt, doch unterscheiden die Bohrlöcher in solchen sich dadurch, dafs sie rauhe Oberfläche haben und nicht mit Glasur überzogen sind.

---

*) The Civil Engineer and Architects Journal. 1862. Pag. 248

§. 12.
Veränderung der Meeres-Ufer.

Indem von der ursprünglichen Bildung der Meeres-Ufer abgesehn wird, kann hier nur von den Veränderungen die Rede sein, die gegenwärtig noch in gröfserem oder geringerem Maafse daran wahrgenommen werden. Die Veranlassung zur dauernden Umgestaltung giebt ohne Zweifel vorzugsweise die Bewegung des Meeres, die durch Wellenschlag, Fluth und Ebbe und durch Strömungen verursacht wird. Aufserdem ist die unmittelbare Wirkung heftiger Winde und noch mehr als diese, der Einfluſs der Quellen auf sandige und thonige Ufer nicht zu verkennen. Man darf wohl annehmen, dafs gegenwärtig die Veränderungen minder bedeutend geworden sind, als sie vor Jahrtausenden waren, in sofern die weniger festen Gebirgsarten, die früher das Meer begrenzten, bereits zerstört sind, und die Vorgebirge und vortretenden Ufer nunmehr auf besonders feste Formationen treffen, die dem Angriffe gröfseren Widerstand entgegen setzen, und zwischen denen die Uferlinien sich bereits den allgemeinen Verhältnissen entsprechend ausgebildet haben. Nichts desto weniger sind jene Festpunkte eben so wenig wie diese Zwischenlinien unveränderlich, vielmehr treten in längeren oder kürzeren Perioden in beiden noch dauernd Veränderungen ein.

Im Allgemeinen beziehn sich diese Veränderungen nur auf Zerstörung oder auf Abbruch der Ufer. Sowol über, als unter dem Wasser stürzt jede Masse, die sich vom Ufer löst, in die Tiefe herab, und nur unter besondern Umständen treten einzelne Theile derselben daraus wieder hervor. Jedes Ufer, wenn es auch aus der festesten Gebirgsart besteht, ist am offenen Meere der Zerstörung ausgesetzt. An den nach Westen belegenen Küsten von England und Schottland bemerkt man eine auffallende Glätte der Oberfläche. Die gegenschlagenden Wellen, vielleicht auch Kiesel und andere Gegenstände haben vorzugsweise die kleineren vortretenden Ecken angegriffen und im Laufe der Zeit beseitigt. Aber es lösen sich in Folge der Verwitterung oder aus sonstigen Ursachen zuweilen gröfsere Massen und alsdann bilden sich neue Angriffspunkte. Die verschiedene Festigkeit des Gesteins giebt in manchen Fällen zu eigenthümlichen Erscheinungen Veranlassung. Wenn das Meer bis zu

einer besonders festen Gebirgsmasse vorgedrungen ist, und diese lange Zeit hindurch seinen Angriffen widersteht, so bricht es die dahinter befindlichen Theile ab. So sah man vor wenig Jahren vor der nördlichen Ecke von Helgoland verschiedene Säulen stehn, von denen die eine besonders auffiel, weil sie im obern Theile viel breiter war, als unten. Auch an der westlichen Küste von Portugal und den davor liegenden Inseln stehn mehrfach isolirte Felsen vor den am weitesten vortretenden Ecken. Zuweilen geschieht es aber, dafs nur der untere Theil des dahinter liegenden Gebirges abgebrochen wird, während die Decke, die dem Angriffe der Wellen entzogen ist, über dem freien Zwischenraum sich unversehrt erhält. Solcher natürlichen Felsthore giebt es mehrere auf der Westseite von Helgoland.

Anders verhält es sich mit weicheren Gebirgsarten. Namentlich die Kreide, wie sie an beiden Seiten des Canales zwischen England und Frankreich ansteht, auch an der Preufsischen Küste vorkommt, bricht in viel stärkerem Maafse ab, und noch mehr findet dieses bei aufgeschwemmtem thonigen Boden statt, selbst wenn derselbe grofse Festigkeit besitzt, auch vielleicht zahllose Granitgeschiebe darin vorkommen, die beim Abbruche herabstürzen und alsdann eine mächtige Steinschüttung vor seinem Fufse bilden. Wo Veränderungen dieser Art noch erfolgen, und der Abbruch der Ufer in kürzeren Perioden, etwa in einem Menschenalter sich auffallend bemerklich macht, da darf man mit Sicherheit annehmen, dafs die Ufer früher viel weiter vortraten, als gegenwärtig, und dafs durch ihr Zurückweichen das Meer oder die Bucht, die sie begrenzen, um Vieles erweitert und dadurch wieder die Ursache der Zerstörung um so mehr verstärkt ist. Eine weitere Schlufsfolge auf die Verhältnisse früherer Perioden gewinnt hierdurch an Wahrscheinlichkeit, dafs nämlich manche Binnenmeere einst viel geringere Ausdehnung hatten und der zerstörende Charakter, den sie jetzt zeigen, ihnen ganz fehlte. Der Canal zwischen Frankreich und England nimmt unzweifelhaft auch gegenwärtig noch an Breite zu, indem von den steilen Uferrändern, die dem Angriffe des Meeres vorzugsweise ausgesetzt sind, periodisch grofse Theile sich lösen, und immer neue Feuerstein-Massen, die in der Kreide eingesprengt waren, den Kies ersetzen, der längs den Küsten von Westen nach Osten treibt. Wenn beide Ufer einst weiter vortraten, so standen sie sich auch näher, vielleicht

liefsen sie zwischen sich nur einen schmalen Meeresarm, durch den die Fluth und Ebbe aus dem Atlantischen Ocean nur in geringem Maafse, oder gar nicht hindurch treten konnte. Die Nordsee mufste damals in ihrem südlichen Theile ganz anderen Verhältnissen unterliegen, als gegenwärtig, und die darin einmündenden Ströme konnten bei der geringeren Bewegung des Wassers nicht nur Sand und Kies, sondern auch die thonigen Theilchen absetzen und den Marschboden bilden, der bei sehr niedriger Ebbe im Norden der Insel Wangeroog noch zu Tage tritt, und der mit den ausgedehnten Wattgründen vor den Niederländischen, Oldenburgischen und Hannoverschen Küsten zusammenhängt.

Soweit ich die Ufer des Atlantischen Meeres im südlichen England, in Frankreich, im Norden von Spanien und in Portugal gesehn habe, konnte ich niemals ein Kreide-Ufer, wie im Canale bemerken. Ueberall zeigten die vortretenden Ecken, zwischen denen sich häufig Sand- und Kies-Ablagerungen hinziehn, nur festeres Gestein. Der aufgeschwemmte Thonboden bildet aber hier eben so wenig wie an der Nordsee hohe Ufer. Dieses zeigt sich nur an der Ostsee. Vielleicht dürfte man aus der Beschaffenheit der Ufer auf die Periode der Entstehung der davor liegenden Meere schliefsen. Das Meer, welches viele Tausende von Jahren hindurch seine Ufer angegriffen hat, hat sich bereits so sehr erweitert, dafs es überall an festere Grenzpunkte gelangt ist, die ihm in viel höherem Maafse Widerstand leisten. Wo dagegen die Ufer aus Gebirgsarten bestehn, die sichtlich noch abbrechen und zurückweichen, da dürfte man wohl annehmen, dafs der Kampf erst in späteren Zeiten begann, und das Meer in jenen frühen Perioden noch nicht, wie gegenwärtig, zerstörend wirkte, also seine Ausdehnung viel geringer und es vielleicht durch zwischen liegende Landstriche noch in kleinere Becken getheilt war.

Die Veränderungen, die wir an der Ostsee und in geringerem Maafse auch an der Nordsee noch bemerken, vergröfsern fortdauernd die Wasserfläche in ihrer allgemeinen Umgrenzung. Das von den Ufern abbrechende Material löst sich, während es von den Wellen hin- und hergeschleudert wird, grofsentheils in so feine Körnchen auf, dafs dieselben im bewegten Wasser schweben und alsdann durch den Rückstrom in die Tiefe herabgeführt werden, wo der Wellenschlag sie nicht weiter berührt. Die Feuersteinknollen,

die mit der abbrechenden Kreide herabfallen, und eben so auch die kleineren Geschiebe und der Kies bleiben in der Nähe des Ufers. Sie sind ein Spiel der Wellen und schleifen sich immer mehr bei dieser Bewegung ab. So wird die Masse jedes Steinchens nach und nach immer kleiner, und der Abgang ist feiner Staub, der in die Tiefe des Meeres versinkt. Sehr auffallend ist die Verschiedenheit in der Gröfse des Kieses, die in der Richtung seiner Bewegung sich oft auffallend zu erkennen giebt, was man an manchen Uferstellen leicht bemerkt, wenn man auf längere Strecken den Strand verfolgt. Westlich von Boulogne ist der Kies, aus Feuersteinstücken bestehend, vorherrschend, doch ist er hier schon minder grob, als bei Dieppe. Bei Calais werden die Steinchen noch kleiner und es finden sich schon grofse Massen Sand dazwischen. Sie verschwinden beinahe ganz bei Dünkirchen und weiterhin sieht man nur Sandablagerungen.

Ganz dieselbe Erscheinung wiederholt sich auch auf der Insel Rügen. Unter dem Vorgebirge Arcona besteht der schmale Strand wieder nur aus Feuersteinen, die auch hier in der Kreide in grofser Masse schichtenweise eingesprengt waren, und bei ihrem Einsturze herabgefallen sind. Verfolgt man das Ufer in südlicher Richtung, so tritt sehr bald der Sand auf, und wo die Schaabe oder die schmale Landzunge beginnt, welche die Meeresbucht, die Tromper Wiek genannt, von den Binnenseen trennt, findet man nur selten noch Feuersteine, und zwar bereits vollständig abgerundete.

Eine sehr auffallende Ablagerung läfst indessen erkennen, dafs hier die Verhältnisse in früherer Zeit wesentlich verschieden waren. Auf der erwähnten Landzunge erstreckt sich nämlich in ihrer ganzen Ausdehnung, also in der Länge von etwa einer und einer halben Deutschen Meile und zwar vielfach hoch mit Sand überweht, ein Rücken von Feuersteinen, der sehr regelmäfsig gestaltet etwa 8 Fufs über den mittleren Stand der See sich erhebt, und stellenweise bis 30 Ruthen breit ist. Er wird zuerst sichtbar bei Juliusruh, wo das hohe Ufer der Halbinsel Wittow abfällt, etwa 300 Ruthen nördlich vom Dorfe Breege. Hier liegt er 50 Ruthen hinter dem jetzigen Strande und zieht sich 800 Ruthen parallel zu demselben auf der Schaabe fort. Alsdann spaltet er sich. Der Arm, der der See zunächst liegt, behält die parallele Richtung zum gegenwärtigen Strande und den erwähnten Abstand von demselben

bei, er hat aber eine weit geringere Breite, die oft nur wenige Ruthen mifst. Etwa 300 Ruthen vom Theilungspunkte entfernt, verschwindet er. Der andre Arm dagegen, gleichfalls zum Strande noch nahe parallel, entfernt sich von demselben etwa auf 100 Ruthen, und kann, obwohl vielfach mit hohen Dünen überdeckt, noch drei Viertel Meilen weit bis gegen das Dorf Glowe, das schon auf der Halbinsel Jasmund liegt, verfolgt werden.

Ueber die Entstehung dieser Kiesrücken kann man nicht zweifelhaft sein. Sie sind nichts Andres, als Seestrand früherer Perioden. Wenn man längs dem steilen Kreide-Ufer der Halbinsel Jasmund geht, sieht man die Feuersteine eben so rein ausgewaschen und in gleicher Weise gelagert, nur sind sie hier gröfser und weniger abgeschliffen, also befinden sie sich noch näher an der Stelle, wo sie mit der Kreide herabstürzten. Jene Rücken auf der Schaabe sind daher von den früheren Kreidegebirgen, durch deren Zerstörung der Feuerstein sich löste, weiter entfernt. Diese Kreidegebirge bestehen zum Theil noch und bilden das Vorgebirge Arcona, das sich 150 Fufs über das Meer erhebt. Nordwestlich von demselben setzt sich die Kreidebildung fort, doch nach Süden, also in der Richtung, in der die Steine sich bewegten, lehnt sich an dieselbe unmittelbar ein nahe eben so hohes aufgeschwemmtes Land an. Die Zerstörung dieses Vorgebirges setzt sich noch dauernd fort und nach wenigen Jahren kann man daran die eingetretenen Veränderungen schon bemerken, aber die Menge der dabei gelösten Feuersteine ist gegenwärtig so unbedeutend, dafs in geringer Entfernung sie nur noch vereinzelt auf dem Strande vorkommen und derselbe bald nur noch aus feinem Seesande besteht. Aus der Steinmasse der erwähnten Rücken kann man auf die Ausdehnung der nach und nach herabgestürzten Ufer schliefsen. Diese Steine wurden in der früheren Periode, als der hintere Rücken sich bildete, bis zur Halbinsel Jasmund geführt, alsdann bildete sich in dem südöstlichen Theile eine Sand-Ablagerung. Doch nochmals traten die Kiesel überwiegend wieder auf, und der zuerst erwähnte Arm war ein neuerer Strand, der jedoch nicht mehr die Ausdehnung des früheren annahm. In neuster Zeit haben sich grofse Sandmassen vor die alten Ufer der Schaabe vorgeschoben.

Aehnliche Erscheinungen, wenn auch viel weniger auffallend und viel unregelmäfsiger, wiederholen sich auf der sogenannten

Schmalen Heide oder der sandigen, bedeutend breiteren Landzunge, welche die Halbinsel Jasmund mit der südwärts belegenen Halbinsel Mönchgut verbindet. Man bemerkt hier ähnliche Kiesrücken, die sich wellenförmig erheben, von denen jedoch eine grofse Anzahl hinter einander liegt. Sie lassen vermuthen, dafs die Strandlinien sich hier nicht so lange erhielten, dafs vielmehr immer neue Ablagerungen in kürzeren Perioden das Ufer seewärts herausrückten.

Wenn in beiden Fällen vor diesen niedrigen Landzungen die Uferlinie nicht zurückgewichen, sondern im Gegentheil seewärts vorgedrungen ist, so macht diese Erscheinung keine Ausnahme von der obigen als allgemein gültig aufgestellten Regel über den Abbruch der See-Ufer, denn die Schaabe sowol, wie auch die Schmale Heide liegen an den tief zurück tretenden Meeresbuchten, die Tromper Wiek und die Prorer Wiek genannt, also nicht an der offenen See. Es giebt aber noch eine andere Ursache, die selbst vor einem geraden Meeres-Ufer eine starke Ablagerung des gelösten Materials veranlassen kann. Dieses geschieht, wenn die Strömung, welche den Sand und Kies bis zu einer gewissen Stelle führt, daselbst aufhört. Fluth und Ebbe können allein solches bewirken. Schon Smeaton erklärt hierdurch das Entstehn der ausgedehnten Kiesbank Dungeness, westwärts von Dover, und die Verschüttung des ehemaligen Hafens Rye.

Bevor zur nähern Betrachtung des Fortschreitens des Sandes und Kieses übergegangen wird, mufs noch im Anschlusse an die festeren Meeres-Ufer die auffallende Erscheinung betrachtet werden, die an den Küsten der Ostsee sich immer wiederholt, dafs nämlich die aus denselben herabstürzenden grofsen Granit-Blöcke dem Ufer keinen Schutz gewähren, vielmehr nach und nach und oft in wenigen Jahren spurlos verschwinden. Die Erklärung ist nach dem, was oben über die Wirkung der Wellen (§. 5) gesagt ist, sehr einfach. Der einzelne Block ruht nicht auf fester Unterlage, vielmehr auf Sand oder auf Thonboden. Der Druck, den die anrollende Welle auf ihn ausübt, setzt sich rings um ihn fort, trifft also auch sein leicht bewegliches Unterlager, woher Theile desselben gelöst werden. Dieselbe Wirkung äufsert aber auch das zurückfliefsende Wasser, und so sinkt der Stein nach und nach tiefer herab. Je höher er noch liegt, um so stärker ist die Wirkung der Wellen, aber selbst in der Tiefe von 20 und 30 Fufs hört diese noch nicht auf, und in

solcher Weise verschwinden die Steine und über sie fort treffen die Wellen späterer Stürme ungeschwächt wieder den neuen Fuſs des hohen Ufers. Wie schnell das Versinken groſser Steine erfolgt, die dem Angriffe des Meeres ganz bloſsgestellt sind, zeigte sich einst beim Molenbau vor Pillau. Die für das Jahr 1828 bestimmte geringe Verlängerung der Südermole war beendigt, und da ohnfern des neuen Kopfes in der Richtung des im nächsten Jahre auszuführenden Baues eine Sandbank sich gebildet hatte, die nur wenige Fuſse unter Wasser lag, so schien es angemessen, das übriggebliebene Material zur Sicherung dieser Bank zu benutzen, wodurch eine wesentliche Erleichterung der spätern Arbeit sich als wahrscheinlich herausstellte. Die vorräthigen Faschinen dienten zur Bildung einer schwachen Unterlage, auf welche etwa 16 Schachtruthen Steine durchschnittlich von 2 Fuſs Durchmesser geworfen wurden. Schon nach kurzer Zeit war die so geschaffene Insel nicht mehr sichtbar, und als ich im nächsten Frühjahre sie suchte, konnten nur in der Tiefe von 24 Fuſs einzelne Steine mittelst langer Peilstangen noch bemerkt werden.

Die hohen und steilen Meeres-Ufer, die aus aufgeschwemmtem Boden und namentlich aus abwechselnden Thon- und Sand-Lagern bestehn, werden nicht allein von dem Wellenschlage, sondern auch von dem herausquellenden Wasser angegriffen. Groſse Erdmassen, oft mit Bäumen und Sträuchern bestanden, lösen sich über den abwärts geneigten Thonschichten, wenn diese vom Wasser erweicht werden, und stürzen bis zur ganzen Tiefe herab, oder finden schon auf ihrem Wege einen festen Halt, wobei sie im Zusammenhange bleiben und terrassenförmig auf dem steilen Ufer einen mit frischer Vegetation bedeckten Absatz bilden. Dergleichen Abrutschungen werden allein von den Quellen veranlaſst, und erfolgen auch später, wenn der Fuſs bereits gegen den Angriff der Wellen gesichert ist. In diesem Falle aber bildet sich über dem Fuſse nach und nach eine flachere Böschung, die endlich die vollständige Erhaltung derselben herbeiführt. Man entschlieſst sich zu solchen Deckungen nur, wenn wichtige Bauwerke, wie Leuchtthürme, gesichert werden sollen. Der Verlust an Boden, der in einem Jahre und in einer kurzen Reihe von Jahren eintritt, steht mit den Kosten solcher Anlage in keinem Verhältnisse, und die Uferbesitzer unterlassen es daher, letztere darauf zu verwenden. Im Laufe der Zeit

werden diese Verluste aber übermäfsig grofs. An manchen Stellen der westlichen Küste des Samlandes bricht das Ufer in jedem Jahre sehr stark ab, und es dürfte sich daher gewifs rechtfertigen, diesem so grofsen Landverluste endlich eine Grenze zu setzen.

Ich gehe nunmehr zur Untersuchung über das Verhalten des Kieses und Sandes am Rande des Meeres über. Dafs der Kies, während er durch die Wellen hin- und hergeworfen wird, sich abschleift, abrundet und immer kleinere Dimensionen annimmt, ist bereits erwähnt worden. Ein Zerfallen desselben in eine Menge Sandkörnchen kommt indessen wohl nur vor, wenn er aus einer weicheren Gebirgsart besteht. Der feste Kies, wie etwa der Feuerstein, zerspringt zwar bei heftigem Aufstofsen leicht in mehrere Stücke, dieses geschieht indessen vorzugsweise doch nur, wenn er in unförmlichen und gröfseren Knollen vorkommt. Sobald er der Kugelform sich nähert und geringe Dimensionen angenommen hat, hört die weitere Zertheilung auf. Eine Umwandlung in Sand könnte daher nur noch in sofern stattfinden, als aus jedem Kiesstücke zuletzt ein einziges Sandkörnchen sich ausbildet, wie nach dem von Frisi angestellten Versuche*) auch bei weicherem Gesteine geschieht. Die grofsen Sandmassen, die man am Meere wahrnimmt, lassen sich also in dieser Weise nicht erklären, und man kann nur annehmen, dafs sie entweder durch Ströme herbeigeführt wurden, oder aus dem Abbruche sandiger Meeres-Ufer sich ansammelten. Im aufgeschwemmten Boden pflegen Sandlager sehr häufig vorzukommen, wenn man auch von denjenigen Massen absieht, welche während der Stürme von der See aus heraufgetrieben werden und oft in grofser Höhe die Ufer überdecken.

Die niedrigen Ablagerungen von Sand oder Kies vor dem Ufer, die nur wenig über den Meeresspiegel vortreten und von höheren Wellen überspült werden, nennt man den Strand. Die Regelmäfsigkeit, in welcher derselbe sich ausbildet, ist überraschend. Als ich einst behufs des Dünenbaues den Strand der Frischen Nehrung im Königsberger Regierungsbezirke aufnahm, konnte ich ohnerachtet der geringen Breite, die durchschnittlich nur etwa 15 Ruthen maafs, dennoch sehr lange Linien von 1000 Ruthen, und in einem Falle sogar von 1300 Ruthen Länge darauf abstecken, und nach dem

*) Im zweiten Theile dieses Handbuches § 56.

Auftragen stellte sich die Begrenzung des Wasserspiegels als eine überaus regelmäfsige und sanft gekrümmte Linie dar. Etwas Aehnliches wiederholt sich an allen Meeresküsten. Betrachtet man die Französischen Küsten-Charten, so bemerkt man dieselbe regelmäfsige Strandbildung sowol im Canale, als im Atlantischen und im Mittelländischen Meere. Einzelne Ausläufer der Gebirge treten in die See hinaus, und zwischen diesen zieht sich der sandige Strand in flachem, etwas concavem Bogen hin. Häufig schliefst sich das Ufer nicht unmittelbar an den Strand an, derselbe besteht vielmehr, wie unsere Nehrungen, nur aus einem schmalen Landstreifen, hinter dem ein ausgedehnter Binnensee oder ein Haff liegt. Namentlich an der Küste des Mittelländischen Meeres wiederholt sich diese Erscheinung sehr vielfach. Das Städtchen Cette liegt z. B. am Fufse eines isolirten hohen Kalkfelsens, der durch den Etang de Thau vom festen Lande geschieden ist. Dieser See erstreckt sich bis gegen Agde, wo das Gebirge wieder im Cap d'Agde weit in die See tritt. Zwischen diesen beiden Bergkuppen zieht sich nun in der Länge von $2\frac{1}{4}$ Deutschen Meilen die Landzunge hin, die wenig einwärts gekrümmt, nur etwa 200 Ruthen Breite hat. Noch viel schmaler ist die Landzuge, die auf der östlichen Seite von Cette die daselbst belegenen weniger breiten und tiefen Haffe begrenzt. Hinter den in der See liegenden ausgedehnten Felsbänken vor dem Etang d'Ingri tritt die Nehrung in weitem Bogen in die See vor, doch nimmt sie weiterhin vor dem Etang de Palavas wieder die einwärts gekehrte flache Krümmung an. An der Nordküste von Frankreich, neben dem Canale gestaltet sich vielfach die Erscheinung in sofern etwas anders, als der Strand in viel schärferen Krümmungen tiefe Buchten bildet. Die Ursache dieser Abweichung mufs man wohl in den starken Strömungen der Fluth und Ebbe suchen, die durch einzelne weit vortretende Gebirgs-Ecken unterbrochen, hinter sich eine kreisförmige Strömung gleich den Neeren oder Widerströmen hinter den Buhnen in den oberländischen Flüssen veranlassen.

Dafs Sand- und Kies-Ablagerungen schon in Folge des Wellenschlages sich gegen die See einigermaafsen regelmäfsig abgrenzen müssen, leuchtet ein, in sofern die etwa vortretenden Ecken einem besonders starken Angriffe ausgesetzt sind, und daher bald verschwinden, während die vorhandenen kleineren Buchten dem Angriffe sich am meisten entziehn, und demnach die hinein getriebenen

Körnchen daselbst ungestört liegen bleiben. Man mufs indessen noch gewisse Küstenströmungen voraussetzen, um die Entstehung und Erhaltung des Strandes und namentlich auch der schmalen Erdzungen oder der Nehrungen zu erklären, welche die tiefer einspringenden Buchten des Meeres abschliefsen. Ohne solche Strömung würde der Sand nahe an der Stelle, wo er sich befindet, liegen bleiben, und die überaus gleichmäfsige Vertheilung desselben, die vor den Meeres-Ufern wirklich vorkommt, würde nicht eintreten können.*)

Ich erinnere an die Erscheinungen, welche beim Auflaufen der Wellen auf den Strand sich zeigen (§. 5). Die ganze Oberfläche desselben kommt in Bewegung, soweit sie von der Welle überfluthet wird. Die Körnchen folgen der Richtung der Welle, und sobald das Wasser zurückläuft, reifst es sie wieder mit sich. Treffen die Wellen normal gegen das Ufer, so tritt jedes Körnchen ungefähr wieder an dieselbe Stelle zurück, die es früher inne hatte, doch dieses ist ein seltener Fall. Gemeinhin laufen die Wellen etwas schräge auf das Ufer auf, und alsdann setzen sie auch die Sand- und Kieskörnchen in schräger Richtung in Bewegung, so dafs sie längs dem Strande etwas vorrücken. Käme das auflaufende Wasser vollständig zur Ruhe, so würde es in derjenigen Richtung abfliefsen, in der das Gefälle am stärksten ist, also normal gegen die Strandlinie. Bei stärkerem Wellenschlage geschieht dieses aber nicht, man bemerkt vielmehr, dafs das Wasser, sobald es auf den Strand gelaufen ist, seine fortschreitende Bewegung in der Richtung des letzteren noch beibehält, und dafs es diese beim Zurücklaufen gleichfalls verfolgt. So veranlafst schon ein mäfsiger Wellenschlag, der das Ufer nicht etwa ganz normal trifft, eine Strömung in der Richtung des Strandes und dieser folgen auch die Sand- und Kieskörnchen, indem sie im Zickzack abwechselnd immer auf- und abtreiben.

Wenn diese Strömung allein durch die Wellen veranlafst würde, so müfste sie nach der localen Richtung des Strandes bei gewissen

*) Auf den Nehrungen der Ostsee zeigt sich an einzelnen wenigen Stellen Diluvial-Boden, man mufs daher annehmen, dafs einige Inseln hier ursprünglich schon existirten und später durch Sandablagerungen des Meeres theils mit dem Festlande verbunden, theils aber in sehr grofser Ausdehnung jedesmal fortgesetzt wurden.

Winden an nahe belegenen Stellen sehr verschieden ausfallen, auch wäre es unerklärlich, wie die grofsen Sandmassen herbeigeführt werden könnten, die zur Bildung der Nehrungen erforderlich waren. Wenn dagegen eine vorherrschende Küstenströmung, unabhängig vom Winde, obwohl zuweilen von diesem unterbrochen, besteht, so ist es ersichtlich, dafs dieser Strom durch die vortretenden Ufer-Ecken bedingt, den kürzesten, also den geraden Weg von einer derselben bis zu der andern verfolgt, und dafs er den Sand, den er herbeiführt, in dem ruhenden Wasser zur Seite absetzt. Man denke einen Strand, der sich längs eines solchen Küstenstromes hinzieht, an einer Stelle unterbrochen. Wenn nun der Wind den Strand trifft, so kommt die Oberfläche desselben in Bewegung und die Sandkörnchen, die auf ihrem hin und her gerichteten Wege im Allgemeinen dem Strome folgen, fallen in die Tiefe hinab, sobald sie das Ende des Strandes erreichen. Hier bleiben sie liegen, denn in gröfserer Tiefe trifft sie weniger der Stofs der Wellen, und letztere werden schwächer, sobald die Ablagerung gröfsere Höhe annimmt. Bei Winden, die in der Richtung des Stromes oder des Strandes wehen, ist diese Sandmasse sogar der Einwirkung des Wellenschlages ganz entzogen. So setzt sich der Strand immer weiter fort, und hierdurch erklärt sich auch das Entstehen der Nehrungen, so wie die bereits erwähnte Erscheinung, dafs die Oeffnung in denselben, welche die See mit dem Haffe verbindet, oder das Tief, sich an der vom Strome abgekehrten Seite befindet.

In gleicher Art bilden sich auch die Hacken vor Ufer-Ecken aus. Wegen ihrer freien Lage werden sie aber von den darüber laufenden Wellen immer angegriffen und bleiben daher in ihren vorderen Theilen, oft aber auch in ihrer ganzen Länge unter Wasser. Ihre Richtung stimmt immer mit der des Küsten-Stromes überein, doch pflegen sie die Wendung, die dieser hier macht, gleichfalls am äufsern Ende erkennen zu lassen. Sie bestehn aus dem Sande oder Kiese, der auf dem vorhergehenden Strande antreibt, und wo solcher recht reichlich vorhanden ist, da bilden sie sich am vollständigsten aus. An der Preufsischen Ostseeküste befindet sich ohnfern des sandigen Mecklenburgischen Ufers ein solcher Hacken, der Darss genannt, der in der Richtung des vorhergehenden Strandes zuerst nördlich und dann östlich weit in die See vortritt, und noch in seiner Ausbildung begriffen ist, indem das nördliche Ufer ihm folgt. Aehnliche

Hacken, jedoch von geringerer Ausdehnung, schliefsen sich an die scharfen Uferecken von Arcona und von Brüsterort an.

Merkwürdig sind die Hacken im Frischen Haffe zwischen Pillau und Königsberg. Fig. 27 zeigt dieselben nach der sorgfältigen Aufnahme, die der Navigations-Lehrer Becker 1825 und 1826 ausführte. Der Grund des Haffes besteht aus einem Niederschlage von Thon und Moorerde, der so weich ist, dafs die Peilstange darin tief eindringt. Die Hacken sind dagegen feste Sandablagerungen, so wie auch die Ufer theils an sich sandig, theils aber von einem sandigen Strande grofsentheils umgeben sind.

Wenn man durch das Tief von Pillau in das Haff kommt, so trifft man zunächst die weit ausgedehnten Sandbänke, die bei westlichen Stürmen mit dem hart eingehenden Strome von der Seeseite her eingetrieben und hier niedergeschlagen sind. Durch dieselbe führt in südöstlicher Richtung das Haupt-Fahrwasser, die Rönne genannt, das jedoch nur durch Baggern in der nöthigen Schiffahrts-Tiefe erhalten werden kann. Diese Sandbank lehnt sich nordwärts an den Camstigaler Hacken, der nahe eine Meile lang in östlicher Richtung sich hinzieht, und die nordwärts gelegene Bucht, die Fischhauser Wiek genannt, begrenzt. Wenn er an seinem äufsern Ende auch tief unter Wasser liegt, so ist er doch mit der Peilstange leicht zu erkennen, indem diese in den Sand nicht eindringt. Der Hacken verdankt ohne Zweifel seinen Ursprung dem eingehenden Strome, der wie ein Küsten-Strom an seiner Seite den Sand absetzt.

Weiterhin ist die Strömung im Haffe sehr geringe und fast unmerklich, da die Auswässerung des Pregels, die an sich schon ziemlich unbedeutend ist, in den weiten Profilen keine wahrnehmbare Geschwindigkeit mehr erzeugen kann. Auch der seewärts eingehende Strom schwächt sich in dem Maafse, wie er sich ausbreitet, und wie die vor ihm liegende Wasserfläche, in die er sich ergiefst, immer kleiner wird. Der Wellenschlag ist im Haff freilich viel schwächer, als in der See, aber dennoch hinreichend stark, um den Sand am Strande in Bewegung zu setzen. Es tritt also hier der eigenthümliche Fall ein, dafs eine vorherrschende Strömung nicht existirt und die Ablagerungen des Sandes nur von dem Wellenschlage bedingt werden, die der Wind in seinen verschiedenen Richtungen veranlafst. Diese Ablagerungen sind daher nicht nach grofsen zusammenhängenden Linien erfolgt, die durch vortretende feste

Uferpunkte von einander geschieden werden, vielmehr bemerkt man darin nur die Wirkung der bald in dieser, und bald in jener Richtung auflaufenden Wellen, wodurch kleine Unregelmäfsigkeiten ausgeglichen und die Umgrenzung des tiefen Wassers innerhalb mäfsiger Flächen in Zusammenhang gebracht wird. Auf diese Weise sind durch Hacken, die von beiden Seiten aus vortreten, getrennte Bassins entstanden, welche mehr oder weniger abgerundete Formen angenommen haben.

Unmittelbar vor der Mündung des Pregels ist das Haff so schmal, dafs die Wirkung der Wellen auf die Sandablagerung weniger auffallend sich zu erkennen giebt. In der Entfernung von drei Viertel Meilen tritt aber schon von der Südseite der Brandenburger Hacken, und demselben gegenüber, von der Nordseite ein andrer Hacken, der Littaus-Sand genannt, weit vor. Im Abstande von $1\frac{1}{2}$ Meilen schliefsen alsdann wieder zwei ähnliche Hacken, nämlich nordwärts der Peyser Hacken und südwärts in viel geringerer Länge der Lenskeberger Hacken ein Bassin ab. Ein andres erstreckt sich bis an den Kahlholzer Hacken, während die Fischhauser Wiek durch den bereits erwähnten Camstigaler Hacken begrenzt wird. Auch weiter südwärts oder in dem sogenannten Elbinger Haff bemerkt man ähnliche Bassins. Das erste wird im Norden durch den Kahlholzer Hacken und durch die Sandablagerungen vor Pillau, im Süden dagegen durch den gleichfalls weit vorspringenden Leysuhner und zwei gegenüber liegende kleinere Hacken bei Alt-Tief auf der Nehrung begrenzt. An dieses schliefst sich wieder ein andres Bassin, das bis an den Katthacken vor Passarge reicht, dem der Polscker Hacken gegenüber liegt.

Wenn diese verschiedenen Hacken auch ohne Zweifel zum Theil mit der Gestaltung und Znsammensetzung der dahinter belegenen Ufer in Beziehung stehn, und aus dem Abbruche derselben entstanden sind, so ist die Bildung der ziemlich regelmäfsigen Bassins zwischen ihnen, und das wiederholte gleichzeitige Auftreten je zweier einander gegenüberliegender Hacken doch so auffallend, dafs man annehmen mufs, es habe noch eine andere Ursache zu ihrer Ausbildung Veranlassung gegeben. Diese kann aber keine andre sein, als der Wellenschlag, der in Verbindung mit der schwachen Strömung am Ufer, die er zur Folge hat, den Strand ausgleicht und ihn als niedrige Sandablagerung oder als Hacken noch unter Wasser

fortsetzt. Die Erscheinung zeigt, wenn man das Fehlen einer vorherrschenden Strömung berücksichtigt, unverkennbare Aehnlichkeit mit der Formation der Nehrungen.

Aus dem, was über die Bildung des Strandes an der offenen See gesagt ist, ergiebt sich schon, dafs im Allgemeinen jede Unterbrechung desselben, oder jede Oeffnung im Strande bei starkem Wellenschlage und vorherrschender Küstenströmung, sofern die nöthigen Kies- oder Sandmassen herbeigeführt werden, sich verengen und wenn nicht andere Kräfte dieses verhindern, sich sogar vollständig schliefsen mufs. Die Erfahrung bestätigt dieses jedesmal. Schon im ersten Theile dieses Handbuches §. 27 ist erwähnt worden, dafs die Pontinischen Sümpfe dadurch entstanden sind, dafs Dünenketten ihre natürlichen Abflüsse verschlossen. Die Mündungen von Bächen in die See werden nach anhaltenden Stürmen vollständig gesperrt, indem der Strand ohne Unterbrechung sich über sie fortzieht, und es bildet sich die neue Mündung nicht früher, als bis das Binnenwasser so hoch gestiegen ist, dafs es anfängt, über die Sandablagerung fort zu fliefsen oder hindurch zu sickern. Die kleineren Binnenseen, die ohnfern der Pommerschen Küste liegen, verlieren fast in jedem Jahre einmal ihren natürlichen Abflufs. Vor dem Camper-See auf der Westseite von Colberg und dem Gothen-See zwischen Swinemünde und Häringsdorf habe ich wiederholentlich 5 bis 6 Fufs tiefe Gräben im Strande ausheben sehn, um den unterbrochenen Abflufs wieder darzustellen.

Die Oeffnungen im Strande erhalten sich nur, wenn sie in Folge der hindurch strömenden grofsen Wassermassen so weite Profile haben, dafs dieselben in der Zwischenzeit, wenn die Strömung unterbrochen ist, nicht erheblich verengt werden können. Ausgedehnte Binnenseen, wie das Frische und Curische Haff in Ost-Preufsen, oder das Haff zwischen Swinemünde und Stettin nehmen, wenn starke Winde die Küste treffen, und der Wasserspiegel der See sich hebt, sehr bedeutende Wassermassen auf, es bildet sich daher in ihren Mündungen während der ersten Zeit des Sturmes ein heftiger eingehender Strom, der zwar vielen Sand mit sich führt, denselben aber nicht in der engen Mündung, sondern erst weiterhin fallen läfst. Die starken Sandablagerungen in dem Haff vor Pillau und eben so auch vor der Einmündung der Swine zeigen dieses sehr deutlich. In den Mündungen selbst erfolgt der Nieder-

schlag nicht früher, als bis der Binnensee zur Höhe des äufsern Wasserstandes gefüllt ist, oder die Einströmung aufhört. Alsdann legt sich gemeinhin schon der Sturm, die See senkt sich und die Ausströmung beginnt, die bald so kräftig wird, dafs sie die Mündung wieder aufräumt.

Wo keine ausgedehnte Binnenseen dahinter liegen, auch keine grofse Ströme münden, kann diese natürliche Aufräumung einer vorhandenen Oeffnung nicht mehr erfolgen, und wenn man solche Oeffnung künstlich darstellen wollte, so würde sie, falls die Küste überhaupt den in Rede stehenden Versandungen ausgesetzt ist, in kürzester Zeit sich schliefsen. Dieses wird durch alle Erfahrungen bestätigt, und zwar zeigt es sich an den Ausmündungen kleiner Wasserläufe schon so augenscheinlich, dafs selbst eine flüchtige Besichtigung des Seestrandes zu der Ueberzeugung führt, die Mündung eines Seehafens könne sich nur offen erhalten, wenn eine kräftige Strömung dauernd oder periodisch hindurch geht. Die letzte ist nur in dem Falle entbehrlich, wenn der Hafen entweder in einer geschützten Bucht liegt, wo also die Wellen den Sand nur wenig bewegen, oder wo die Küste aus Felsen besteht, und Sandablagerungen davor überhaupt nicht vorkommen. An einem sandigen oder kiesigen Ufer des offenen Meeres ist daher eine Hafenanlage nur möglich, wo die Natur die Gelegenheit bietet, eine kräftige Strömung hindurch zu leiten. Je stärker die letztere, oder je ausgedehnter das Quellengebiet des ausmündenden Flusses ist, um so gröfser ist die Tiefe, die in der Hafenmündung sich erhält. Auch dieses bestätigt sich durch die Erfahrung. In den drei kleinen Häfen in Hinter-Pommern sind die localen Verhältnisse im Uebrigen sehr nahe dieselben. Sie liegen in geringen Entfernungen von einander in einer sandigen Küste und zwar bildet jeder die Mündung eines kleinen Flusses, während keiner von diesen einen ausgedehnten Binnensee durchfliefst, der beim Anschwellen der Ostsee durch Rückströmung gehoben würde. Das Quellengebiet der Persante hält 50 Quadratmeilen, das der Wipper 42, und das des Stolp-Flusses 31 Quadratmeilen. Die gewöhnlichen Tiefen dieser Flüsse in und vor ihren Mündungen betragen beim mittleren Wasserstande: bei Colbergermünde, wo die Persante in die See tritt, 12 Fufs, bei Rügenwaldermünde, oder an der Wipper, 10 Fufs und bei Stolpmünde an dem Stolp-Flufs 8 bis 9 Fufs, doch wird die letzte Tiefe bei der

ziemlich frequenten Schiffahrt nur dadurch erhalten, dafs bei irgend günstiger Witterung der Bagger vor der Hafenmündung in Thätigkeit ist.

Gewöhnlich ist an solchen Stellen, wo die localen Verhältnisse die Anlage eines Hafens begünstigen, auch das commerzielle Bedürfnifs zur Errichtung eines solchen am gröfsten, in sofern ausgedehnte Binnenseen und grofse, schiffbare Ströme die bequemste Gelegenheit zum Verkehr mit dem Binnenlande bieten. Eine Ausnahme hiervon pflegt für Handelshäfen nur einzutreten, wenn unbedeutende Flüfschen, die in die See münden, mit kleinen Kähnen befahren werden oder vielleicht zum Flöfsen von Scheitholz dienen, das bei günstiger Witterung in die auf offener See liegenden Schiffe verladen wird. Bei einiger Ausdehnung solchen Verkehrs wird die Anlage eines vollständigen Seehafens und zwar von bedeutender Wassertiefe gefordert. Die Schwierigkeit der Erhaltung der Tiefe in seiner Mündung bleibt trotz aller sonstigen Erfahrungen ganz unbeachtet. Man weist nach, dafs seit Menschen-Gedenken oder wenigstens in der letzten Zeit keine neue Sandablagerungen vor dem Strande sich gezeigt haben (was an der offenen See niemals ohne äufsere Veranlassung geschieht), und hieraus schliefst man, dafs auch in Zukunft der gegenwärtige Zustand sich nicht verändern kann. Hiernach kommt es also nur darauf an, die Hafenmündung soweit seewärts herauszulegen, bis man die gewünschte Tiefe antrifft. Es werden also Hafendämme oder Molen projectirt. Genau dasselbe geschieht auch, wenn es sich um Verbesserung bestehender Häfen handelt, und selbst solcher, wo diese Auffassung sich schon wiederholentlich als unzulänglich erwiesen hat.

Das vorgeschlagene, sehr kostbare Mittel schafft nach allen Erfahrungen augenblickliche Hülfe. Ob nach zehn Jahren und vielleicht schon früher dieselben Uebelstände wieder eintreten und alsdann noch von andern sehr grofsen Erschwernissen der Schiffahrt begleitet sind, wird nicht beachtet. Indem man den Zusammenhang der Erscheinungen nicht klar auffafst, so übersieht man die nothwendigen Folgen solcher Anlagen und hofft jedesmal, dafs die Uebelstände, die sich regelmäfsig später zu zeigen pflegen, in diesem speciellen Falle ausbleiben werden.

Die Erfolge solcher Molenbauten sind indessen leicht erklärlich, und treten überall ein, wo die Tendenz zur Verlandung überhaupt

vorhanden ist, also wo grofse Sand- oder Kiesmassen durch Wellenschlag und Küstenströmung in Bewegung gesetzt werden und am Strande treiben. Vor unsern Ostsee-Häfen, so wie auch vor denen am Canale zwischen England und Frankreich und eben so auf einem grofsen Theile der Französischen Küste am Mittelländischen Meere zeigt sich genau dieselbe Erscheinung. Eben so wie natürliche Ufer-Ecken, also wie etwa jene vortretenden Ausläufer der Gebirge in der Nähe von Cette, unterbrechen die Molen eines Hafens den Küstenstrom und zwingen denselben, eine andre Richtung anzunehmen, als er bisher verfolgte. Die Verhältnisse werden also wesentlich verändert, und an beiden Seiten des Hafens entstehn kleine Meeresbuchten. Der Strom entfernt sich vor denselben von den Ufern und beginnt eine neue Strandbildung, die sich endlich an den Kopf der Mole anschliefst. Bei der geringen Ausdehnung der Buchten werfen die Wellen den zur Seite des neuen Stromes abgelagerten Sand bis an das Ufer und hier, im Schutze der Molen, lagert er sich sicher ab, bis die ganze Bucht gefüllt ist und nunmehr in gleicher Art, wie vor dem Bau der Molen, der Sand wieder in den Hafen treibt und eben sowol die Mündung desselben verflacht, wie er auch vor der Mündung die frühere grofse Tiefe ausfüllt.

Wenn man abbrüchige Meeres-Ufer schützen und ein weiteres Vortreten des Strandes vor dieselben veranlassen will, so wird vielfach mit mehr oder weniger Erfolg dasselbe Mittel angewendet, das beim Hafenbau unter ganz gleichen Umständen gerade die entgegengesetzte Wirkung haben soll. In beiden Fällen baut man buhnenartige Werke, die vom Ufer aus in die See treten, und die in beiden Fällen das Strandgebiet wesentlich verändern und dadurch Veranlassung zu Verlandungen geben. Der Unterschied besteht nur darin, dafs man in dem einen Falle die Verlandung beabsichtigt, und im andern sie vermeiden will. Dieses ist natürlich ohne Einflufs auf den Erfolg.

Obwohl das nähere Eingehn in diesen Gegenstand in den eigentlichen Hafenbau gehört, so dürfte es doch angemessen sein, schon hier die Mittel zu bezeichnen, durch welche dem schnellen Verflachen der Hafenmündungen vorgebeugt werden kann. Man bemühe sich, den vorbeitreibenden Sand und Kies schon in angemessener Entfernung vor dem Hafen aufzufangen. Unter den

drei kleinen Häfen in Hinter-Pommern sind die Sand- und Kies-Ablagerungen vor Stolpmünde viel stärker, als vor Colberger- und Rügenwaldermünde. Die westwärts, also in derjenigen Richtung belegenen Ufer, woher der vorherrschende Küstenstrom so wie auch der heftigste Wind kommt, sind aber vor Stolpmünde am wenigsten befestigt, und der Unterschied in dieser Beziehung ist so auffallend, dafs man einen gewissen Zusammenhang dieser beiden Umstände, der an sich sehr wahrscheinlich ist, wohl annehmen darf.

Eine zweite Vorsichts-Maafsregel ist, dafs man eine möglichst weite und tiefe Bucht vor derjenigen Mole, welche vom Küstenstrome getroffen wird, zu erhalten bemüht sein mufs. Die Natur vereitelt zwar diese Absicht und oft in sehr kurzer Zeit, aber unter keiner Bedingung darf hier durch Zäunungen und Pflanzungen das Anwachsen des Strandes noch befördert werden, wie doch sehr oft geschieht. Zur Zeit westlicher Stürme fliegen grofse Sandmassen über die westlichen Molen der benannten Häfen, und so auch bei Swinemünde. Sie bilden undurchsichtige dichte Staubwolken und ohne Zweifel fällt ein grofser Theil dieser Massen in die Häfen, während ein Theil auch über die östlichen Molen fortfliegt und also das Fahrwasser nicht trifft. Um diese Versandungen möglichst zu verhindern, die man wohl jedesmal sehr überschätzt, pflegte man den westlichen Strand neben dem Hafen durch Bepflanzen mit Sandgräsern zu befestigen, so weit dieses irgend möglich war. Hierdurch wurde die Sandablagerung noch schneller seewärts heraus geführt, als sie sich schon in Folge der Küstenströmung ausdehnte. Das Uebel, das man durch diese Pflanzung veranlafste, war weit gröfser, als dasjenige, welches man vermeiden wollte, und die Periode, in der der neue Strand den Kopf der westlichen Mole erreichte, trat früher ein und die Hafenmündung wurde in gleichem Maafse der Verflachung früher Preis gegeben, als wenn man den Sand hier nicht aufgefangen hätte. Die Molen vor dem Hafen Swinemünde, die 1818 bis 1823 erbaut wurden, machen eine sehr glückliche Ausnahme von allen übrigen bei uns bisher ausgeführten ähnlichen Anlagen, da sie bisher keiner Verlängerung bedurft haben, und auch gegenwärtig ein Bedürfnifs hierzu noch nicht eingetreten ist. Das Fahrwasser in der Mündung hat noch die grofse Tiefe von 22 bis 24 Fufs. Die Ursache hiervon ist aber nur darin zu suchen, dafs eine tiefe und weite Bucht, der oft versuchten Pflanzungen an der West-

seite des Hafens ohnerachtet, noch besteht, und dafs sich ein flach gekrümmtes Strandgebiet hier ausgebildet hat, welches den Küstenstrom in die Richtung des aus dem Hafen tretenden Stromes lenkt, so dafs derselbe parallel zu diesem der See zufliefst. Dafs dieses Verhältnifs wirklich besteht, beweist die Sandablagerung vor dem Kopfe der westlichen Mole, die unter Wasser die Fortsetzung der letzteren bildet. Dieser Hacken, der zu beiden Seiten von tiefem Wasser begrenzt wird, verfolgt sehr nahe die Richtung der Mole und fällt so sanft ab, dafs er erst in der Entfernung von 260 Ruthen, vor ihrem Kopfe 12 Fufs Wasser über sich hat. Er verlängert sich auch gegenwärtig noch fortwährend, wenn gleich sein weiteres Vorrücken nur sehr langsam erfolgt. Ein näheres Eingehn in diese Bildung und die Beantwortung der Frage, ob dadurch der Hafen bedroht wird, gehört in den Hafenbau. Hier sollte nur der Nutzen der weiten und tiefen Uferbuchten an der Stromseite durch ein Beispiel nachgewiesen werden.

Der wichtigste Umstand, von dem die Erhaltung der Tiefe eines Hafens abhängt, ist endlich die Stärke des hindurchgehenden Stromes. Ein kleines Flüfschen kann in seiner Mündung die für Seeschiffe erforderliche Tiefe nicht erhalten, wenn nicht etwa sehr ausgedehnte Binnenseen in geringer Entfernung damit in Verbindung stehn. Solche Seen nehmen bei jedem Wechsel des Wasserstandes der See grofse Massen in sich auf und lassen solche später wieder abfliefsen. Die Kunst bietet nicht leicht Gelegenheit, um in dieser Hinsicht die natürlichen Verhältnisse zu ändern. Am meisten gelingt dieses noch, wenn ein starker Fluthwechsel statt findet, was an der Ostsee nicht der Fall ist.

Es mag noch darauf aufmerksam gemacht werden, dafs die nöthige Tiefe im Hafen selbst, durch Baggern erhalten werden kann, dafs es also vorzugsweise nur auf die kräftige Strömung in der Mündung ankommt. Indem nun das Gefälle die Stärke der Strömung bedingt, so mufs man dafür sorgen, dafs in dem Hafen recht weite Durchflufsprofile dargestellt werden, die das Wasser mit mäfsiger Geschwindigkeit, also mit sehr geringem Gefälle durchfliefsen lassen. Hierdurch wird der Vortheil erreicht, dafs das vorhandene Gefälle sich in der Mündung concentrirt, und hier, wo ein Bagger wegen der Wellenbewegung nur selten arbeiten kann, die Tiefe

nach jeder Verflachung durch den möglichst starken Strom wieder bald hergestellt wird.

Wie sehr der Nutzen eines kräftigen Stromes zur Sicherung eines Hafens auch an sich klar ist, und wie übereinstimmend auch alle Erfahrungen ergeben, dafs an einer Küste, vor der Sand- und Kiesmassen vorbeitreiben, ein Hafen nur möglich ist, wenn solche Strömung seine Mündung offen erhält, so tritt dennoch immer wieder die Ansicht auf, und findet vielfach Geltung, dafs die Ursache der Verflachung eines Hafens in dem durch den Strom herbeigeführten Sande zu suchen sei, und dafs man also für die Erhaltung der Tiefe am besten sorgen könne, wenn dem Strome entweder dauernd oder doch zur Zeit seiner gröfsten Anschwellung ein andrer Abflufs, als durch den Hafen, eröffnet wird. Wie irrig diese Ansicht ist, ergiebt sich deutlich aus der Erfahrung, dafs man an Meeresküsten, vor welchen Sand vorbeitreibt, niemals eine Oeffnung findet, die ohne hindurchgehenden Strom sich frei erhält. Selbst Mündungen von Bächen und kleinen Flüssen werden, wie schon erwähnt, bei Stürmen vollständig gesperrt und ein hoher Strand legt sich alsdann ohne Unterbrechung über sie fort. Untersucht man aber das Material, das sich hier abgelagert hat, so überzeugt man sich leicht, dafs es derselbe rein ausgewaschene Sand oder Kies ist, der den anschliefsenden Strand bildet, während von den Thontheilchen des Flufswassers keine Spur darin aufzufinden ist. Andrerseits zeigt aber auch die Erfahrung, dafs bei starken Auswässerungen, während die See ruhig ist, die Mündung niemals gesperrt wird, sondern im Gegentheile sich alsdann am vollständigsten ausbildet. Als vor einigen Jahren während heftiger Frühjahrsstürme die Mündung des Stolpmünder Hafens sich so zulegte, dafs die Tiefe nur noch 3 Fufs betrug, konnte man sich augenscheinlich von der Ursache dieser Verflachung überzeugen, da grober Kies, wie er auf dem dortigen Strande vorkommt, in der Mündung lag. Nichts desto weniger sollte nach der allgemeinen Meinung auch hier der Stolp-Flufs, der aufser Thontheilchen nur feinen Sand abführt, diese Verflachung veranlafst haben, und es wurde sogleich vorgeschlagen, diesem Flusse zur Seite des Hafens eine neue Mündung zu eröffnen, um in Zukunft einem ähnlichen Ereignisse vorzubeugen.

Glücklicher Weise hat solche Absicht, so oft sie auch ausgesprochen wird, und als sehr practische Idee gemeinhin Anerkennung findet, dennoch vor der Ausführung gewöhnlich Bedenken erregt und ist sonach nicht leicht auf die Probe gestellt worden. Soviel bekannt, giebt es nur ein einziges Beispiel dafür, dafs in diesem Sinne wirklich und zwar am offenen Meere verfahren ist. Der Hafen von Ostium wurde unter dem Kaiser Claudius zur Seite der Mündung der Tiber erbaut, und nur durch einen Canal mit der letzteren verbunden, die neben dem Hafen unmittelbar in die See ausmündete. Der Hafen, dem in dieser Weise die Durchströmung ganz genommen war, versandete bald und seine Trümmer liegen gegenwärtig weit entfernt vom Meere.

Die internationale Commission, die 1858 in Paris zusammentrat, um über die Verbesserung der Donau-Mündungen zu berathen, ging wieder von der Ansicht aus, dafs ein Fahrwasser, welches nicht durchströmt wird, auch der Gefahr der Verflachung nicht unterliegt.*) Sie schlug daher vor, von demjenigen Donauarme aus, der Haupt-Schiffahrtsarm sein solle, einen Schiffahrts-Canal durch das Ufer zu führen, denselben am obern Ende durch eine Schleuse gegen Durchströmung zu sichern und ihn zwischen Steindämmen soweit in das Meer fortzusetzen, bis man die nöthige Fahrtiefe, nämlich von 16 Fufs Engl. anträfe. Dieser Vorschlag fand bei den mit den Vorarbeiten und der Ausführung beauftragten Beamten der verschiedenen dabei betheiligten Staaten sogleich den lebhaftesten Widerspruch. Dieselben machten weite Reisen, um sich von der Richtigkeit der Erfahrungen, die jenem Beschlusse zu Grunde lagen, durch den Augenschein zu überzeugen, und so geschah es, dafs die Ausführung in ganz entgegengesetzter Weise erfolgte.**) Das für den Durchgang der Schiffe bestimmte Fahrwasser wurde nicht der Durchströmung entzogen, sondern man bemühte sich, durch regelmäfsige Umschliefsung und Verengung den Strom darin möglichst zu verstärken. Dieses Mittel hat, wie Anfangs immer zu geschehn

*) Rapport de la Commission technique internationale convoquée à Paris pour l'examen des questions relatives à l'amélioration des bouches du Danube. Paris 1858. Chap. V. Pag. 66.

**) Description of the Delta of the Danube and of the Works recently executed at the Sulina Mouth. Civil Engineer and Architect's Journal. 1862. Pag. 115.

pflegt, bereits sehr günstige Erfolge gehabt. Beim Beginne der Arbeiten im Jahre 1858 konnten nur Schiffe von 9 Fuſs Tiefgang in die Sulina-Mündung einsegeln, 1861 dagegen solche von 16 Fuſs und zeitweise sogar von noch gröſserem Tiefgange.

In gleicher Weise werden auch noch andere Projecte zu grofsartigen Hafen-Anlagen aufgestellt, deren Mündungen gleichfalls durch Schleusen geschlossen werden sollen, um die Durchströmung zu verhindern. Abgesehn von den sehr grofsen Erschwernissen der Schifffahrt, wenn jedes aus- und eingehende Schiff durchgeschleust werden mufs, verzichtet man dabei auch auf das einfachste und wirksamste Mittel zur Offenerhaltung der Mündung. Wo starker Fluthwechsel statt findet, kann man freilich die Dockschleusen nicht leicht entbehren, aber selbst in diesem Falle findet vergleichungsweise zu den hier in Rede stehenden Häfen der wesentliche Unterschied statt, dafs zur Zeit des Hochwassers die Thore geöffnet bleiben, also ein wirkliches Durchschleusen nicht vorkommt. Aufserdem bemüht man sich, soweit es irgend thunlich, dabei noch eine gewisse Spülung einzurichten, die man hier absichtlich verhindert, wiewohl die localen Verhältnisse dazu oft Gelegenheit bieten.

Wenn diese Häfen auch nicht am offenen Meere, sondern an sehr geschützten Meeresbuchten liegen, wo starke Versandungen nicht zu besorgen sind, so fehlen letztere doch an sandigen Ufern niemals ganz. Man führt zuweilen den Hafen von Danzig als Beispiel einer gelungenen Anlage dieser Art, an. Der Hafen Neufahrwasser liegt aber eines Theils nicht am offenen Meere, und sodann hat gerade hier die Erfahrung gezeigt, dafs die Beseitigung einer starken Durchströmung die Mündung keineswegs vor Versandungen schützen konnte. Dieser Hafen besteht in einem Canale, der linkseitig kurz vor der früheren Mündung der Weichsel aus derselben abgeht. Als man gegen das Ende des siebenzehnten Jahrhunders den Schiffahrtsweg seitwärts verlegt, und bald darauf an seinem obern Ende eine Schleuse erbaut hatte, um die Schiffe gegen den Eisgang der Weichsel sicher zu stellen, war derselbe bis zum äufsersten Ende des auf der Nordseite erbauten Schutzdammes nur etwa 200 Ruthen lang, und gegenwärtig sind die beiderseitigen Einfassungen, die Anfangs jedesmal frei liegende Hafendämme waren, so weit ausgedehnt, dafs der Kopf des östlichen Dammes mehr als 600 Ruthen von der ehemaligen Schleuse entfernt ist. Die geschicht-

lichen Nachrichten weisen auch nach, dafs man vielfach theilweise Verlängerungen der Hafendämme vornehmen mufste.*) Wenn in den letzten dreifsig Jahren weitere Verlängerungen nicht vorgekommen sind, und voraussichtlich auch in Zukunft entbehrlich sein werden, so rührt dieses aber allein von der sehr geschützten Lage der Hafenmündung her, vor der ein kräftiger Dampfbagger mit seltenen Ausnahmen den ganzen Sommer hindurch arbeiten kann, und auch wirklich sehr häufig arbeitet und die Sandablagerungen beseitigt.

Wenn ein Binnensee oder eine zusammenhängende Kette von solchen an zwei verschiedenen Stellen mit dem Meere in Verbindung steht, so kann es sich ereignen, dafs bei gewissen Winden eine dauernde Durchströmung statt findet. An derjenigen Mündung, die vom Winde getroffen wird, wo also der Spiegel der See sich erhebt, tritt das Wasser ein, und da gerade hier in Folge des starken Wellenschlages alsdann auch der Sand in Bewegung gesetzt und von einer oder der andern Seite längs dem Strande herbeigeführt wird, so folgt er dem Strome. Wenn er auch nicht in der engen Mündung liegen bleibt, so geschieht dieses doch unmittelbar dahinter, wo das Profil sich erweitert. Diese nachtheilige Einströmung ist aber anhaltend, weil das Wasser auf der andern Seite abfliefst, es werden daher, so lange der Sturm anhält, immer neue Sandmassen hinein geworfen. Die Ausströmung dagegen, die wegen des reinen Wassers, das sie abführt, von besonderer Wichtigkeit für die Erhaltung der Tiefe ist, bleibt sehr mäfsig und kann nicht lange anhalten, weil das eingetriebene Wasser schon auf der andern Seite abgeflossen ist.

Will man in solchem Falle günstigere Verhältnisse herbeiführen, so mufs man eine Oeffnung ganz oder wenigstens zeitweise schliefsen. Diejenige Oeffnung, welche die eigentliche Hafenmündung bildet, mufs jedenfalls den ausgehenden Strom behalten, wird diese also mit einer Schleuse versehn, so darf solche nur während heftiger und anhaltender Einströmung geschlossen werden. Viel vortheilhafter ist es, die andre Oeffnung, oder an irgend einer passenden Stelle die innere Verbindung zu sperren. Will man hier aber die Binnen-Schiffahrt erhalten, so hindert nichts, eine entspre-

*) Geschichte der Veränderungen des Danziger Hafens, von Severin, in den Bau-Ausführungen des Preufsischen Staates. Band I. Seite 86 ff.

chende kleine Schiffs-Schleuse mit vier Thorpaaren zu erbauen, welche den höheren Wasserstand auf beiden Seiten abhalten kann. Es ist alsdann dasselbe sehr vortheilhafte Verhältnifs herbeigeführt, als wenn ein Binnensee mit einer einzigen Oeffnung hinter dem Hafen liegt, und man hat nur dafür zu sorgen, dafs dieser See die möglichst gröfste Ausdehnung behält.

So lange die beiderseitigen Oeffnungen bestehn, so ist in der Regel die eine derselben der Gefahr der Verlandung in hohem Grade ausgesetzt. Die Formation der beiden schmalen Landzungen, der Schaabe und der Schmalen Heide, auf der Ostseite der Insel Rügen, von denen schon die Rede war, läfst deutlich erkennen, dafs sie sich als Nehrungen ausgebildet haben, also aus früheren Meeresbuchten hervorgewachsen sind. Vor ihrer Entstehung standen die Binnenseen, die jetzt allein auf der Westseite, also der Insel Hiddins-Oe gegenüber, mit dem Meere verbunden sind, auch auf der Ostseite mit demselben in Verbindung. Diese Oeffnungen haben sich von selbst geschlossen. In manchen Fällen erhalten sich selbst neben Meeren, die keinem merklichen Fluthwechsel unterworfen sind, zwei und sogar mehrere Oeffnungen, doch geschieht dieses immer nur, wenn die Wasserflächen sehr grofse Längen-Ausdehnung haben, und unter sich sehr auffallend in verschiedene Abschnitte getheilt sind. Das Frische Haff in Ost-Preufsen, von dem ein Theil in Fig. 27 dargestellt ist, hat in früherer Zeit noch in der Nähe von Lochstädt bei *A*, und dem Leysuhner Hacken gegenüber bei *B* mit der See in Verbindung gestanden, und sowol nach den historischen Ueberlieferungen, als auch nach der Gestaltung und Beschaffenheit des Grundes leidet es keinen Zweifel, dafs hier wirklich Verbindungen mit der See existirten. Sie bestanden indessen nicht gleichzeitig oder vielleicht war das Haff damals noch durch zwischenliegende Landzungen in mehrere Theile getrennt. Das gegenwärtige Tief bei Pillau bildete sich erst aus, nachdem das sogeannte Balgaer Tief bei *B* sich bereits sehr verflacht hatte, wozu nach den geschichtlichen Nachrichten die Versenkung von mehreren Schiffen Veranlassung gegeben haben soll.

Das Curische Haff hat, soviel bekannt, stets nur eine Verbindung mit der See gehabt, und zwar dieselbe, die noch existirt, wenn diese auch durch Verlängerung der Nehrung im Laufe der Zeit weiter nordwärts gerückt zu sein scheint.

Das Frische Haff in Pommern hat dagegen drei Verbindungen mit der See: die Peene, die Swine und die Dievenow. Seine Längen-Ausdehnung mifst 6 Meilen, und wenn man das Achterwasser hinzurechnet, sogar 10 Meilen. Aus letzterem ergiefst sich die Peene in das Meer, die Dievenow dagegen aus einem durch hohe Untiefen getrennten Theile des Haffes, die Paulsdorfer Bucht genannt, und aus dem Kamminer Bodden, während die Swine das Wasser aus dem eigentlichen Haff, das wieder in das kleine und das grofse Haff zerfällt, abführt. Alle drei Ausmündungen sind langgestreckte Stromarme, während an mehreren andern Stellen nur schmale und niedrige Sandstreifen das Haff vom Meere trennen, wie bei Misdroy und bei Koserow.

Der Greifswalder Bodden, der freilich keine grofse Längen-Ausdehnung hat, mündet sowol an der östlichen, wie an der westlichen Seite der Insel Rügen in die See. Dieser Umstand verhindert, dafs bei gewissen Winden das Wasser auf der äufsern Seite sich ausgleichen kann, und hat daher Veranlassung gegeben, dafs das lange und vielfach gekrümmte Fahrwasser, das bei Stralsund vorbeiführt, sich dauernd erhält, wiewol die Wassertiefe, welche die Schiffahrt fordert, hier in gröfserem Maafse, als gewöhnlich geschieht, durch Baggerung dargestellt ist und erhalten werden mufs.

Endlich verdient noch die 7 Meilen lange Kette von Seen Erwähnung, die im Norden von Stralsund, südlich von der Insel Hiddins-Oe beginnt und sich bei Barth vorbei bis Ribnitz im Mecklenburgischen erstreckt. Auf der Ostseite hat sie eine weite Mündung in die Proner Wiek vor der Insel Rügen und daneben ist sie nur durch eine hohe Sandbank, von nahe 1 Meile Länge, der Bock genannt, von der offenen See getrennt. Diese Bank, obwohl vielfach von etwas tieferen Rinnen unterbrochen, liegt nahe in der Höhe des gewöhnlichen Wasserspiegels der See. Aufserdem existirt noch eine andere Verbindung mit der See, nämlich der Prerow-Strom, der etwa eine Meile lang und sehr gekrümmt ist. Er führt gewöhnlich grofse Wassermassen in kräftiger Strömung ab und mündet auf der Ostseite von Darsser-Ort. Soweit die historischen Nachrichten reichen, hat er stets, obwohl mit vielfachen Veränderungen seines Laufes, existirt. Die schmale Landzunge, das Fischland genannt, welches bei Wustrow auf der Westseite den Saaler Bodden (den letzten in dieser Seenkette) von der Ostsee trennt, liegt zum Theil so

niedrig, dafs das Hochwasser hinübertritt, und es zeigen sich darin auch Spuren von künstlichen Anlagen, die vermuthen lassen, dafs man eine schiffbare Verbindung hier darzustellen versucht hat. Bei der freien Lage dieser Küste sind indessen durch den hinzutreibenden Sand die Verbindungen der beiderseitigen Wasserflächen immer wieder bald geschlossen.

An denjenigen Meeren, in welchen die Fluth und Ebbe stark auftritt, kommen Haff-Bildungen mit vorliegenden Nehrungen nicht leicht vor, oder letztere sind vielfach durchbrochen, woher sie sich in Insel-Reihen verwandeln. An der westlichen Küste von Nord-Amerika sieht man die Nehrungen noch sehr vollständig ausgebildet, soweit der Fluthwechsel nur 1 oder 2 Fufs beträgt. Dieses ist der Fall an den Ufern der Staaten Florida, Indiana, und weiterhin wieder bei Cap Hatteras in Nord-Carolina, so wie in geringerem Maafse vor New-Yersey und Long-Island, obwohl der Fluthwechsel hier schon 4 Fufs mifst. In den zwischenliegenden Strecken, woselbst die Fluth bis 7 und 8 Fufs ansteigt, bemerkt man dagegen sehr vielfache Unterbrechungen in solchen Landzungen, so dafs jedes dahinter liegende Haff eine grofse Anzahl von Mündungen hat.

Sehr auffallend tritt diese Erscheinung auch in der Nordsee auf, besonders in der langen Inselreihe, die mit Texel beginnt und sich über 30 Deutsche Meilen weit bis Wangeroog vor der Mündung der Jade hinzieht. Diese Inseln zeigen auf der Seeseite die vollständige Dünenbildung und wenn sich im Innern zuweilen auch fruchtbarer und culturfähiger Boden vorfindet, so darf man ihre Trennung doch nicht von der ursprünglichen Formation des Bodens herleiten, vielmehr ist anzunehmen, dafs bei dem starken Fluthwechsel einzelne Rinnen, die vielleicht zufällig zwischen ihnen entstanden, wegen der immer wiederkehrenden starken Durchströmung sich vertieften und erweiterten und nicht wieder schlossen, bis endlich die vollständige Trennung erfolgte. Auch vor der Küste von Schleswig wiederholt sich, namentlich neben der langgestreckten Insel Sylt eine ähnliche Erscheinung.

Der vor dem Strande vorbeitreibende und darauf aufgeworfene Sand bleibt zum Theil nicht dauernd ein Spiel der Wellen, und namentlich vor geschützten Ufern häuft er sich von selbst an. Ihn aufzufangen, regelmäfsig abzulagern und zu befestigen, ist vorzugsweise der Zweck des Dünenbaues, der später ausführlich behan-

delt werden wird. Doch bleibt dieser Sand keineswegs immer auf dem Strande, vielmehr wird er, bevor er bewachsen ist, bei heftigen Seewinden, wenn dieselben auch mit Regen verbunden sind, landwärts getrieben. Grofse Massen Sand überdecken alsdann, oft in Entfernungen bis zu einer halben Meile den Boden und nehmen ihm seine Ertrags-Fähigkeit, oft auch bildet er hier weit ausgedehnte, ganz kahle Sandschellen, von wo er wieder, vom Winde in Bewegung gesetzt, weiter getrieben wird. Besonders auffallend ist es, dafs hohe und steile Ufer diesem Sandfluge kein Hindernifs entgegensetzen, vielmehr gerade solche ihn vorzugsweise zu begünstigen scheinen. Wenn ein starker Seewind diese Ufer trifft, so erzeugt derselbe vor dem Fufse einen bedeutenden Druck, und indem die comprimirte Luft keinen andern Ausweg als nach oben findet, so entsteht eine heftige aufwärts gerichtete Luftströmung. Diese giebt sich schon durch das Gefühl sehr auffallend zu erkennen. Wenn man unmittelbar auf dem Rande eines steilen Abhanges steht, so ist man vor dem Sturme geschützt, obwohl kein Gegenstand hier den Wind abhält und man gerade hier dem Sturme in seiner gröfsten Stärke ausgesetzt zu sein glauben sollte. Die aufwärts gerichtete Strömung setzt aber noch über das Ufer hinaus ihre Bewegung fort, und so geschieht es, dafs sie nicht plötzlich ihre Richtung verändert, vielmehr erst in einiger Höhe über der steilen Dossirung horizontal abgelenkt wird. Ueber dem hohen Ufer tritt daher eine auffallende Ruhe ein.

Dieser aufwärts gerichtete heftige Luftstrom reifst nun den Sand mit sich fort, und führt ihn auf das hohe Ufer. Zur Zeit eines Sturmes ist dasselbe in diese Sandmasse so dicht eingehüllt, dafs es mit einem starken Nebel bedeckt erscheint. In dieser Weise ist der Streckelberg, drei Meilen westwärts von Swinemünde, der sich etwa 150 Fufs über die See erhebt und aus festem Thonboden besteht, bis 20 Fufs hoch mit Seesand überdeckt, und in gleicher Weise bemerkte ich an der Portugisischen Küste, wo vor den steilen Felsufern ein Strand sich gebildet hatte, in der Höhe von einigen hundert Fufsen darüber ausgedehnte Sandschellen.

Wesentlich anders als am offenen Meere erfolgt die Uferbildung in tiefen und geschützten Buchten oder in Binnenseen, die mit dem Meere in Verbindung stehn. Sehr auffallend zeigt sich dieser Unterschied in den beiden Mündungen der Weichsel. Der

Arm, der diesen Namen beibehält und sich ostwärts von Danzig in die Ostsee ergiefst, setzt vor seiner Mündung nur reinen Sand ab, und zwar geschah dieses in der früheren Mündung eben so wol, als in der jetzigen. Der andere Arm dagegen, die Nogat, der in das Frische Haff eintritt, bildet im letzteren Niederschläge, die aufser dem Sande auch eine Masse thoniger und vegetabilischer Theile enthalten, und die daher im Laufe der Zeit zu sehr fruchtbaren Niederungen anwachsen. Wie schnell das Land emporwächst, ist bereits im ersten Theile dieses Handbuches, §. 25, nachgewiesen. Die Vergleichung mit älteren Charten ergab, dafs das Ufer zwischen den Jahren 1794 und 1838 jährlich um $11\frac{1}{4}$ Ruthen vorgerückt war. In neuster Zeit hat dieses Vorschreiten wahrscheinlich sich sehr vermindert, da bei Gelegenheit der Ueberbrückung beider Arme die Vertheilung des Wassers vor der Montauer Spitze so gemacht ist, dafs nur noch ein sehr geringer Theil desselben der Nogat zugegewiesen wird.

Ohne Zweifel führten beide Arme, die Weichsel, wie die Nogat, stets dasselbe Wasser ab, das zur Zeit der Anschwellung des Stromes in beiden gleichmäfsig mit Sand, Thon und andern Bestandtheilen versetzt war. Sobald es aber durch die Weichsel-Mündung in die See trat, wurde der Niederschlag sogleich durch die Wellenbewegung ausgewaschen und grofsentheils fielen die feinen Theilchen gar nicht zu Boden, folgten vielmehr dem Strome soweit, bis sie endlich zu einer Tiefe herabsanken, wo sie von den Wellen nicht mehr berührt werden. Vor dieser Mündung konnten also nur die schweren Theilchen liegen bleiben, die bei der schwächeren Strömung zu Boden sanken. Im Haff dagegen, wo nur selten, und in dieser Gegend sogar nur mäfsiger Wellenschlag eintritt, kann das Wasser sich viel vollständiger klären, so dafs auch thonige und vegetabilische Theilchen niederschlagen. Die Erscheinung ist demnach hier wesentlich von derjenigen verschieden, die man am offenen Meere bemerkt. Das Ufer wächst in Binnenseen vor den Strom-Mündungen an, und der neue Anwuchs ist nicht nur Sand, sondern fruchtbarer Boden.

In tiefen und geschützten Meeresbuchten wiederholt sich dieselbe Erscheinung aus gleichem Grunde, obwohl hier die Sandablagerungen doch schon viel reiner zu sein pflegen. Wo sich aber ganz reiner Sand vorwirft, da ist es zweifelhaft, ob derselbe durch

den Strom oder durch das Meer herbeigeführt wurde. Dafs letzteres in weite Strommündungen Sand eintreibt, ergiebt sich schon aus dem, was oben über die Abschliefsung der Oeffnungen im Strande gesagt ist. Es mufs hinzugefügt werden, dafs solche Sandablagerungen in grofsem Maafse auch an den Binnenseiten der Ausmündungen der Haffe vorkommen, durch welche doch gewifs kein Sand aus den einmündenden Flüssen und Strömen herbeigeführt werden kann, weil solcher bei der überaus geringen Geschwindigkeit nothwendig schon früher niederfallen mufste. Der Sand, den man in den Haffen vor ihren Ausmündungen findet, kommt auch nicht aus dem Binnenlande und aus den Flüssen, sondern aus der See. Dieses zeigen die darin befindlichen Seemuscheln. Beim Ausbaggern der Fahrrinne in der Fortsetzung der Swine, also im Haffe selbst, gab die nähere Untersuchung des gehobenen Sandes dieses deutlich zu erkennen.

Eine besondere Erwähnung verdient endlich noch die Entstehung der fruchtbaren Flächen, die man Marschen nennt, und die aus dem Meeresboden emporwachsen, ohne dafs ein Strom in der Nähe die feinen Erdtheilchen vom Binnenlande her herbeiführt. Die Erscheinung wiederholt sich nur an solchen Stellen, wo seewärts in grofser Ausdehnung fruchtbarer Boden unter Wasser liegt, wo also weite Flächen aufgeschwemmten Landes durch das Meer in früheren Zeiten zerstört sind. Sobald das darüber stehende Wasser durch Wellenschlag und Strömung bewegt wird, so löst es die feinen Theilchen der Oberfläche, hebt sie und nimmt deren so viele in sich auf, dafs es stark getrübt wird. Wenn alsdann eine heftige Strömung dieses Wasser in geschützte Busen oder Buchten führt, wo es bei eintretender Ruhe die Erde fallen läfst, und wenn derselbe Vorgang in kurzen Zwischenzeiten sich immer wiederholt, so ist es erklärlich, dafs der Boden schnell aufwachsen mufs. Diese Bedingungen können nur erfüllt werden, wo ein starker Fluthwechsel statt findet, und wo geschützte Meeresbusen dahinter liegen. Beispiele hiervon sind der Dollard an der Mündung der Ems und der Jade-Busen. Ich habe bereits erwähnt, dafs der Thonboden unter der Sandablagerung, welche die Insel Wangeroog bildet, beim kleinsten Wasser zu Tage tritt. Mit den thonigen Theilchen schwängert sich also das Seewasser sowol hier, als auch noch mehr auf den Watten innerhalb der Inselreihe, und indem es bei der Fluth

die erwähnten beiden Busen füllt, so führt es ihnen grofse Erdmassen zu, von denen nach den an der Jade-Mündung angestellten Messungen ein sehr bedeutender Theil daselbst zurückbleibt oder den Boden erhöht. Diese weichen und niedrigen Thon-Ablagerungen, die zur Zeit des niedrigsten Wassers daraus hervortreten, nennt man Watte. Sie wachsen immer mehr an und bald bildet sich einige Vegetation darüber, die den weiteren Niederschlag durch die gröfsere Ruhe und in Folge dieser durch die vollständigere Abklärung des Wassers noch mehr befördert. Sobald der Boden höher anwächst, wird aber die darüber tretende Wasserschicht immer niedriger, und hierdurch vermindert sich die Masse der aus ihr herabsinkenden erdigen Theilchen. Hat der Boden endlich die Höhe der gewöhnlichen Fluthen erreicht, so wächst er nur noch unmerklich weiter. Er ist alsdann zur Eindeichung geeignet.

Obwohl in diesen Fällen die Fluth in Verbindung mit dem Wellenschlage und den Strömungen, die sie veranlafst, sehr fruchtbare Alluvionen erzeugt und grofse Landesflächen aus dem Meere vortreten läfst, so können dennoch, und zwar an eben diesen Stellen, ihre Wirkungen mit den äufsersten Zerstörungen verbunden sein. Solche Ereignisse sind zwar ohne Zweifel zum Theil dadurch veranlafst, dafs die Eindeichungen vorgenommen waren, bevor das Land die nöthige Höhe erreicht hatte, nichts desto weniger trocknet der Boden mehr aus, sobald er durch Deiche geschützt ist, und sinkt daher tiefer herab, so dafs er nach längerer Zeit wieder unter der gewöhnlichen Fluthhöhe liegt, und daher vollständig vom Hochwasser bedeckt werden würde, wenn dieses Zutritt fände. Dieses geschieht bei Deichbrüchen, und das Einlaufen des Wassers bei der Fluth, wie das Auslaufen desselben bei der Ebbe veranlafst sehr heftige Strömungen, die um so stärker und gefährlicher sind, je weiter die Fläche sich ausdehnt, die abwechselnd immer gefüllt und entleert wird. Die Zerstörungen sind aber besonders grofs, wenn der Boden als Ackerland benutzt wird, und seine Oberfläche deshalb aufgelockert ist und keinen Schutz in festem Rasen findet. Wo Deichbrüche vor einem der Fluth und Ebbe unterworfenen Gewässer eingetreten sind, mufs man mit Aufbietung aller Kräfte sich beeilen, die Deiche möglichst schnell wieder zu schliefsen, weil die Zerstörung nicht nur von 6 zu 6 Stunden sich immer wiederholt,

sondern auch immer nachtheiliger wird, indem tiefe Rinnen sich ausbilden, welche den Zu- und Abflufs erleichtern und dadurch verstärken.

In früherer Zeit, als das Deichwesen noch nicht gehörig geordnet und für schleunige Instandsetzungen noch nicht gesorgt war, sind wiederholentlich Zerstörungen eingetreten, welche heutiges Tages unglaublich erscheinen und jede Vorstellung übertreffen. Von der Verwandlung des Süd-Holländischen Waards in ein weites und tiefes Binnenwasser ist schon früher (im zweiten Theile dieses Handbuches §. 72) die Rede gewesen. Eben so soll der Dollard, der vor den später darin erfolgten Verlandungen etwa 7 Quadratmeilen enthielt, durch den Bruch eines Ems-Deiches im Jahre 1277 entstanden sein. Einige dreifsig Städte und Dörfer befanden sich auf der zerstörten Landfläche.*)

Auch der Busen der Jade entstand durch wiederholtes Eindringen der Fluthen in ein reiches und bevölkertes, bereits eingedeichtes Land. Am 17. November 1218 erfolgte vorzugsweise ein solcher Einbruch, wodurch sieben Kirchspiele theils zerstört und theils vom festen Lande getrennt wurden. Die Ueberlieferungen erwähnen vorzugsweise der Klöster und Kirchen, die ihren Untergang dabei fanden. Die vereinzelten übriggebliebenen Theile der Dörfer wurden verlassen, weil die wenigen Bewohner derselben nicht im Stande waren, sich gegen die Fluthen zu schützen. Die Abgeordneten der sieben Seelande fafsten hierauf den Beschlufs, dafs in dringenden Fällen die benachbarten Dorfschaften Hülfe leisten sollten. Dieses war vielleicht das erste Beispiel eines ausgedehnten Deichverbandes. Nichts desto weniger wurde dem Andrange der Fluthen doch keine Grenze gesetzt, und der Busen gewann im Laufe der Zeit immer gröfsere Ausdehnung. Namentlich trat wieder am 17. Januar 1511 bei der sogenannten Antoni- oder der Eis-Fluth eine übermäfsige Zerstörung ein. Ein heftiger Orkan löste plötzlich das Eis, und trieb grofse Schollen gegen die Deiche, die dadurch brachen. Eine Menge Dörfer und unter diesen auch Oberahn, von dessen Feldern noch ein kleiner Theil als Insel im Jade-Busen

*) Sehr ausführliche Nachrichten findet man hierüber in dem Werke „de Dollard" von Stratingh und Venema. Groningen 1855.

liegt, wurde damals zerstört, so wie auch das Dorf Band, von dessen Kirche man die Ruinen vor dem Preufsischen Jade-Gebiete noch sehn kann. Das Jeverland wurde damals vom Lande Oldenburg vollständig getrennt, indem die Breite des Busens sich auf nahe drei Deutsche Meilen ausdehnte.*) Seit jener Zeit sind durch Alluvionen grofse Flächen rings um den Busen und namentlich an der westlichen Seite wieder gewonnen.

*) von Halen, Geschichte des Herzogthums Oldenburg. Theil I, Seite 186 und 413.

Zweiter Abschnitt.

Eindeichungen am Meere.

§. 13.

See-Deiche.

Die Eindeichungen am Meere sind von denen an den oberen Strömen (Theil II. dieses Handbuches §. 129) in mancher Beziehung wesentlich verschieden. Vorzugsweise bedingt der durch Fluth und Ebbe in kurzen Zwischenzeiten veranlafste Wechsel des Wasserstandes eine andre Behandlung der See-Niederungen oder See-Marschen. Solche kommen überhaupt nur an denjenigen Meeren vor, wo ein starker Fluthwechsel statt findet. An den Ufern der Ostsee sind sie nirgend vorhanden. Wenn zuweilen, wie etwa in der Danziger Binnen-Nehrung die fruchtbare Weichsel-Niederung sich bis nahe an die See ausdehnt, so liegt hier doch eine hohe Düne dazwischen, welche jede Einwirkung der See aufhebt und die Eindeichung und Entwässerung der Polder allein vom Verhalten der Weichsel abhängig macht. Wenn dagegen die Deiche einzelner Polder stellenweise den Haffen sich nähern, so sind sie zwar unter Umständen einem stärkeren Angriffe ausgesetzt, als Flufsdeiche, aber der Unterschied ist nicht so grofs, dafs sie nicht als solche angesehn werden könnten.

Der Fluthwechsel gewährt für die Entwässerung den sehr grofsen Vortheil, dafs das Binnenwasser nicht etwa nur bis zum mittleren Stande des Meeres, sondern bis nahe auf Niedrigwasser gesenkt werden kann. Aufserdem giebt der Fluthstrom, wie bereits erwähnt, vielfach zum Entstehen neuer und fruchtbarer Landflächen Veranlassung, und bei Eindeichung derselben wird man, wenn nicht etwa die Spülung eines Fahrwassers oder Hafens in Betracht kommt, durch die Rücksicht auf Erhaltung einer gewissen Profilweite nicht beschränkt. Andrerseits sind die Seedeiche, so wie auch die darin

liegenden Siele, oder Entwässerungsschleusen, einem ungleich stärkeren Wellenschlage ausgesetzt, als Flufsdeiche, und das Bedürfnifs ihrer vollständigen Sicherung ist um so dringender, als beim Brechen von Seedeichen, wenn die Oeffnungen nicht sogleich geschlossen werden, die Niederungen durch das Ein- und Ausströmen des Fluthwassers einer vollständigen Zerstörung Preis gegeben werden.

Am offenen Meere kommen nicht leicht Deiche vor. Aufschlickung findet hier nicht statt, es bilden sich daher auch keine neue Marschen. Wo solche aber aus früheren Perioden vorhanden sind, und das Meer nach und nach die Ufer abgebrochen hat, da tritt die Nothwendigkeit ein, das Uebertreten des Hochwassers zu verhindern und zugleich die vorhandenen Ufer gegen ferneren Abbruch zu schützen. In welcher Weise der letzte Zweck zu erreichen, wird später behandelt werden, dem Uebertreten des Hochwassers kann man aber nur durch Deichanlagen begegnen. Gewöhnliche Deiche haben indessen nicht die erforderliche Haltbarkeit, um dem vollen Wellenschlage zu widerstehn, man mufs daher in solchem Falle ganz ungewöhnliche Schutzmittel anwenden, wie etwa bei dem Deiche geschehn ist, der sich von der Mündung des Hafens Nieuwen-Diep beim Helder vorbei bis zu den Dünen des westlichen Strandes von Nord-Holland hinzieht. Derselbe ist über Wasser bis gegen die Krone mit schweren Steinen gepflastert und unter Wasser durch eine starke Steinschüttung bis zum Grunde gedeckt. Man kann aber kaum von diesem Deiche sagen, dafs er am offenen Meere liegt, er begrenzt vielmehr nur das Marsdiep, oder das Fahrwasser, das sich zwischen Holland und der Insel Texel hinzieht. Einige Meilen weiter südwärts, bei Petten, ist das Ufer, das ganz frei am Meere liegt, sehr stark abgebrochen, und auf der Binnenseite begrenzt es den reichen und sehr fruchtbaren Polder Zype. Uferschutz-Werke von grofser Bedeutung sind hier ausgeführt, und ein Sanddeich hinter denselben sichert das Land gegen Ueberfluthung. Statt eines gewöhnlichen Deiches hat man also eine künstliche Düne gebildet. Dasselbe ist auf der Nord- und Südseite der Mündung der Wester-Schelde an verschiedenen Stellen geschehn.

Eigentliche Seedeiche kommen nur in Meeresbuchten oder an solchen Ufern vor, die durch Inselreihen und ausgedehnte hohe Wattgründe vor dem stärksten Wellenschlage geschützt sind. Die

ganze Nordsee-Küste von der so eben erwähnten Ecke in Nord-Holland an, den Mündungen der Weser und Elbe vorbei, längs Holstein und Schleswig bis Jütland hin, liegt hinter Inseln oder weit ausgedehnten Watten, und hier ist das Land fast überall niedrig und durch Deiche geschützt, indem das wasserfreie höhere Terrain, oder die Geest, nur selten an das Meer tritt. In den Buchten dieses Küstenstriches, so wie auch an einzelnen, besonders geschützten Strecken desselben, zeigen sich starke Alluvionen und ein fruchtbarer Boden wächst empor, der, sobald er die nöthige Höhe und angemessene Breite erreicht hat, eingedeicht und dem festen Lande angeschlossen wird.

In den untern Stromstrecken findet, wie bereits erwähnt, Ebbe und Fluth gleichfalls statt, auch sind die Mündungen so weit, dafs der heftige Wellenschlag der See hineintritt. Die Deichverhältnisse sind daher hier dieselben, wie in jenen Buchten, und man mufs die Deiche an den untern Strom-Theilen als Seedeiche behandeln. Die Grenze zwischen Flufs- und Seedeichen läfst sich nicht scharf bezeichnen. Gemeinhin nimmt man an, dafs sie an derjenigen Stelle liegt, wo die Rückströmung der Fluth gewöhnlich aufhört, wo also nur ein geringer Fluthwechsel statt findet.

Im Allgemeinen stimmt die Anordnung und Ausführung der Seedeiche mit der der Flufsdeiche nahe überein. Aus dem, was bereits erwähnt ist, ergiebt sich aber schon, dafs neue Eindeichungen am Meere häufiger vorkommen, als an den obern Strömen. An letzteren hat man schon in früherer Zeit die Eindeichungen so weit ausgedehnt, als irgend zulässig war, ja man ist sogar häufig weit über dieses Maafs hinausgegangen. In neuerer Zeit bezieht sich daher der Deichbau an Strömen mehr auf die Regulirung und angemessene Verbindung solcher älteren Anlagen, als dafs man ausgedehnte Niederungen, die bisher offen waren, noch eindeichen und in Polder verwandeln könnte. Dieses ist wenigstens in denjenigen Ländern der Fall, die seit Jahrhunderten cultivirt sind.

Am Meere und eben so auch an den weiten Strommündungen ist das Verhältnifs ein ganz anderes. So oft nicht etwa die Rücksicht auf Erhaltung des Fahrwassers es verbietet, darf man die Eindeichungen weit ausdehnen, ohne dafs eine Besorgnifs wegen der Beschränkung des Profiles sich rechtfertigen liefse. Wo daher weite Alluvionen sich gebildet haben, kann gewöhnlich auch

eine neue Eindeichung vorgenommen werden. Die Rücksichten, welche man hierbei zu nehmen hat, sollen im Folgenden ausführlich erörtert werden. Dieser Fall wiederholt sich aber nicht nur am Dollard und an der Jade in ziemlich kurzen Zwischenräumen, sondern auch im Königreich der Niederlande sind noch in neuster Zeit eine Menge Eindeichungen ausgeführt. So ist vor wenig Jahren der Anna-Paulowna-Polder in Nord-Holland, der Insel Wieringen gegenüber, entstanden, und es ist Absicht, selbst diese Insel durch einen neuen Polder mit dem festen Lande zu verbinden. Auf der östlichen Seite der Insel Texel sind vor zwanzig Jahren neue Eindeichungen vorgenommen. Auch in der Provinz Groningen sind zwischen dem Busen, der Laauwer-See genannt, und dem Dollard während der letzten dreifsig Jahre sehr grofse Landflächen gewonnen.

Der Umstand, dafs man bei Seedeichen die Verengung des Profiles nicht berücksichtigen darf, bietet eine wesentliche Erleichterung in ihrer Anlage. Hieraus ergiebt sich aber noch ein andrer, eben so wichtiger Vortheil, in sofern nämlich kein Seedeich das Durchfluſs-Profil in nachtheiliger Weise beschränkt, so verursacht er auch keinen Stau, und erhöht also nicht den Wasserstand des Hochwassers. In dieser Beziehung ist man wegen der zu wählenden Kronenhöhe weit weniger in Ungewifsheit, als bei neuen Eindeichungen an Strömen, oder bei der Abschliefsung von Fluthrinnen neben den letztern. Der bisher beobachtete höchste Wasserstand ist für die neue Eindeichung an der See unbedingt maafsgebend, und die daneben liegenden ältern Deiche werden auch keinem vermehrten Stau durch sie ausgesetzt, während an den Flüssen jede Verengung des Fluthprofiles einer gewissen Vergröfserung des Gefälles, und sonach einer Erhebung des Oberwassers entspricht. Unter ungünstigen Umständen, und namentlich wenn schwere Eisversetzungen sich gebildet haben, giebt es in der That bei eingedeichten Strömen keine Grenze der Anschwellung. Dieselbe nimmt bei dauerndem Zuflusse immer mehr zu, bis sich endlich durch einen Deichbruch ein Abfluſs eröffnet. Die Wassermenge, welche abgeführt werden mufs, ist in diesem Falle eine bestimmte Gröfse, während der Seedeich, selbst neben der Mündung eines Stromes oder eines ausgedehnten Busens, die Einströmung in gleicher Weise hemmt, wie die Ausströmung. Er hat daher, wenn man die Beschränkung des Pro-

files, die er verursacht, berücksichtigen will, den Erfolg, dafs etwas weniger Wasser aus- und einströmt, doch dürfte diese Wirkung in allen Fällen unmefsbar klein bleiben. Hier sollte nur darauf aufmerksam gemacht werden, dafs der Erfolg auch bei merklicher Gröfse nicht unbedingt nachtheilig ist.

Wie wenig diese Ansicht auch einem Zweifel unterliegen kann, so hat sie dennoch keineswegs immer gegolten, und ein höchst auffallendes Beispiel einer ganz entgegengesetzten Auffassung war der sogenannte Rheinländische Slaperdeich zwischen Amsterdam und Haarlem. Die Stadt Amsterdam erlaubte nämlich nicht die Erhöhung dieses Deiches, weil man meinte, dafs die Fluthen in dem Y in nachtheiliger Weise sich erhöhen möchten, wenn nicht eine Entlastung in das Haarlemmer Meer statt fände. Zu diesem Zwecke blieb der Deich bis zum Anfange dieses Jahrhunderts so niedrig, dafs das Wasser bei gewissem hohen Stande sich darüber ergofs. Meist geschah dieses nur in der Höhe von wenigen Zollen, doch soll es zuweilen 3 Fufs hoch darüber geflossen sein. Man überzeugte sich indessen doch endlich, dafs dieser Ablauf vergleichungsweise gegen die ganze zuströmende Fluthwelle so geringfügig war, dafs dadurch eine irgend wahrnehmbare Senkung unmöglich herbeigeführt werden konnte, und so wurde denn, viel früher, als man mit der Trockenlegung des Haarlemmer Meeres den Anfang machte, die wasserfreie Abschliefsung bewirkt, die für die Entwässerung des Harlemmer Meeres und des ganzen Rhijnlandes von wesentlichem Nutzen war. Die Erfahrung hat seitdem auch keinen Nachtheil für Amsterdam herausgestellt.

In Bezug auf die Unterhaltung tritt bei Seedeichen der sehr günstige Umstand ein, dafs sie nicht lange dem Angriffe des Hochwassers ausgesetzt bleiben, und schon nach wenigen Stunden ihre ganze äufsere Dossirung oder wenigstens ein grofser Theil derselben wieder frei wird. Wenn diese Zwischenzeit und die Dauer des niedrigen Wassers auch ziemlich kurz ist, so genügt sie doch zur Untersuchung des Deiches, und giebt immer Gelegenheit, die gefährlichsten Beschädigungen nothdürftig wieder herzustellen. Der Vortheil ist wenigstens sehr hoch anzuschlagen, wenn man die Verhältnisse an den obern Strömen hiermit vergleicht, woselbst man oft Wochen und selbst Monate lang den Deich nicht aus dem Wasser vortreten sieht, und die Beschädigungen an demselben ganz

unbemerkt bleiben, bis sie sich durch plötzliche Kappstürzungen oder Durchbrüche zu erkennen geben. Nur in sehr seltenen Fällen, wenn nämlich der Wind während der Zeit der Ebbe an Heftigkeit zunimmt, und das Wasser vor sich aufstaut, ereignet es sich, dafs nach dem Hochwasser keine Senkung eintritt, vielmehr die See bis zur folgenden Fluth ihren hohen Stand behält und sich alsdann aufs Neue noch höher erhebt. Ein solches Ereignifs wiederholt sich indessen nicht oft, und die Dauer des Hochwassers dehnt sich dabei auch nur auf zwei Fluthen aus, so dafs man am nächsten Tage ganz sicher erwarten kann, das Wasser wieder stark ebben zu sehn.

Auch der Eisgang gestaltet sich vor Seedeichen ganz anders, als vor Flufsdeichen. Er ist für die ersteren gleichfalls sehr nachtheilig, namentlich wenn die Schollen noch grofs und stark sind, und von den Wellen gegen die Dossirung oder die Krone geschleudert werden. Dazu kommt auch noch der sehr ungünstige Umstand, dafs beim Umsetzen des Stromes dasselbe Eis wieder denselben Deich trifft und aufs Neue beschädigt. Es kann sogar geschehn, dafs das Eis wiederholentlich vorbeitreibt. Namentlich ereignet sich dieses bei ruhiger Witterung, indem alsdann die Schollen nicht zerschlagen werden, und nur der Strömung folgen. Gemeinhin findet indessen hier einiger Wellenschlag statt, und wenn derselbe auch den Stofs des Eises vermehrt, so zerbricht er dasselbe doch sehr schnell, und die kleinern Stücke, die sich alsdann bilden, treiben gewöhnlich dicht gedrängt vor demjenigen Deiche, dem sie durch den Strom und Wind zugewiesen werden. Indem sie aber, wie andere schwimmende Körper, den Wellenschlag mäfsigen, so sind die Beschädigungen, die sie anrichten, meist weniger bedeutend, als in den obern Stromstrecken.

Wenn die erwähnten Umstände sowol in der Anlage, als Unterhaltung der Seedeiche manche Vortheile und Erleichterungen vergleichungsweise gegen die Stromdeiche gewähren, so darf man doch nicht unbeachtet lassen, dafs auch die letztern im Allgemeinen weniger durch Strömung und Eisgang leiden, als durch Wellenschlag. Diese Ursache ihrer Zerstörung und Beschädigung ist aber bei Seedeichen bei Weitem wirksamer, als bei diesen. Man darf daher die Erhaltung eines Seedeiches keineswegs als eine leichte Aufgabe betrachten, vielmehr erfordert dieselbe häufig, und besonders wenn der Deich seiner Lage nach den heftigsten Stürmen ausgesetzt ist, grofse

Anstrengung und die Anwendung mancher Vorsichtsmaafsregeln, die an den obern Strömen ganz unbekannt und entbehrlich sind.

Bei Bezeichnung der Eigenthümlichkeiten der Seedeiche dürfte der passendste Ort sein, eines solchen Deiches zu erwähnen, der unter ganz eigenthümlichen Verhältnissen ausgeführt ist, und sich schon in sofern von allen andern unterscheidet, als er in einem Terrain liegt, das selbst bei den höchsten Anschwellungen nie überfluthet wird. Dieses ist der sogenannte Moordeich. Derselbe liegt an der südöstlichen Seite des Jade-Busens zwischen Schweiburg und Seefeld und erstreckt sich etwa auf die Länge einer halben Meile durch ein hoch gelegenes Moor. Die Höhe des Bodens war Veranlassung, dafs die Eindeichung hier noch fehlte, während der Jade-Busen schon seit Jahrhunderten rings umher eingedeicht war. Aber die Anschlüsse der seitwärts gelegenen Deiche an das Moor waren fortwährend der Zerstörung ausgesetzt, und vor den Enden beider Deiche, wie weit man diese auch fortsetzte, bildeten sich immer von Neuem tiefe Rillen, durch welche die hohen Fluthen in das Binnenland eindrangen. Dazu kam noch ein andrer sehr wesentlicher Uebelstand, der gleichfalls die hinterliegenden Marschen bedrohte. Dieses Moor nämlich bildete auch an sich keinen wasserdichten Abschlufs, indem es im eigentlichen Sinne des Wortes nur auf dem Wasser schwamm. Bei Hochwasser erhob es sich und bot letzterem reichlich die Gelegenheit, in der Tiefe sich weit ins Binnenland fortzusetzen. So geschah es, dafs plötzlich bald hier und bald dort grofse Wassermassen emporquollen und schon im Moore selbst wunderbare Erscheinungen veranlafsten. In dem Aufsendeiche wiederholen diese sich auch noch gegenwärtig. Man sieht hier Getreidefelder, Baumpflanzungen, Gärten und selbst leichte Wohnhäuser, die, nach dem Stande des Wassers in den Gräben zu urtheilen, nur wenig über der gewöhnlichen Fluth liegen, also bei Anschwellungen inundirt werden müfsten. Dieses geschieht aber niemals, denn in demselben Maafse, wie das Wasser steigt, hebt sich auch der schwimmende Boden. Nichts desto weniger treten hin und wieder starke Pressungen ein, der Boden bricht auf, und indem bedeutende Wassermassen herausdringen, so reifsen sie zugleich gröfsere und kleinere Theile der Oberfläche mit sich und versetzen diese auf andre Stellen. Namentlich in der Nähe des Deiches ereignet sich diese Erscheinung nicht selten, und man sieht daselbst in ähnlicher Weise,

als wenn ein Bergsturz statt gefunden hätte, Klumpen Torf von etwa 6 Fufs Höhe und mehrere Quadratruthen grofs, auf dem Boden liegen. In früherer Zeit soll sogar der Fall vorgekommen sein, dafs ein ganzes Grundstück, soweit es durch den Umschliefsungsgraben begrenzt war, sich löste und mit dem Hause und Garten darauf an eine andre Stelle trieb. Gewöhnlich erfolgt indessen der Bruch da, wo die Belastung am gröfsten ist, und dieses findet neben den Häusern statt, dieselben werden daher möglichst leicht aufgeführt, und man vermeidet selbst, durch starke Brandmauern und Schornsteine ihr Gewicht zu vergröfsern.

Um diesen immer wiederholten Einbrüchen und Quellungen zu begegnen und das Binnenland vollständig und sicher abzuschliefsen, wurde endlich im Anfange des vorigen Jahrhunderts, nämlich im Jahre 1717, durch den Admiral Sehestädt ein Deich durch das Moor geschüttet. Wegen der grofsen Tiefe des letztern war die Arbeit sehr schwierig, auch mufste die Erde aus weiter Entfernung beigefahren werden. Der Boden hatte so viel Festigkeit, dafs er nicht nur die einzelnen Wagenladungen, sondern die Schüttungen, die in ganzen Lagen dargestellt waren, noch trug, bei zunehmender Belastung brach er aber durch, und Alles versank spurlos. Dieser Deich hat in der ganzen Höhe, soweit er im Boden steckt (man schätzt diese Höhe auf 20 bis 30 Fufs) keine regelmäfsige Böschung erhalten, doch ist er ohne Zweifel sehr steil, weil die Erde bei dem Gegendrucke des Moores sich nicht seitwärts ausbreiten konnte. Manche Sackungen, die von Zeit zu Zeit eintreten, lassen besorgen, dafs der Deich bei hohen Fluthen durchbrechen könnte, und man hat daher gegenwärtig angefangen, ihn auf der äufsern Seite mit einer starken Berme zu versehn. Man verwendet hierzu die sehr zähe Erde von dem sogenannten Klaihorn, einem Reste der alten Marsch, die noch vor dem Moore lag, aber gegenwärtig durch den Wellenschlag immer mehr abgebrochen wird.

Die Sicherheit eines Seedeiches hängt vorzugsweise von der Höhe und Ausdehnung des Vorlandes oder des sogenannten Aufsendeiches ab. Obwohl diese Fläche bei Hochwasser mehr oder weniger überfluthet und bei ungewöhnlichen Sturmfluthen vielleicht 10 Fufs hoch und darüber mit Wasser bedeckt wird, so mäfsigt sie dennoch den Wellenschlag so sehr, dafs die zerstörende Wirkung desselben viel geringer ist, als wenn die gröfsere Wassertiefe dem

Deiche nahe läge. Die Ursache dieser Abschwächung ergiebt sich aus dem Verhalten der Wellen, wenn sie auf Wasserflächen von minderer Tiefe auflaufen (§. 5). Sie nehmen bei hinreichender Ausdehnung des stufenförmigen Absatzes die Eigenschaften solcher Wellen an, die dieser geringeren Tiefe entsprechen, und ihre Geschwindigkeit vermindert sich. Aufserdem verhindert der hohe Aufsendeich aber auch die Annäherung des heftigsten Stromes, der gleichfalls den Deich bedrohen würde. Man darf hierauf weniger Gewicht legen, wenn es sich um schnell anwachsende Ufer handelt, weil solche einem starken Angriffe nicht ausgesetzt sind, auch erwartet werden kann, dafs der Aufsendeich sich bald erhöhen und weiter verbreiten, und dadurch die Gefahr mäfsigen wird. Wenn dagegen der Aufsendeich abbricht, also an Breite verliert, und diese schon ziemlich geringe geworden ist, so mufs die äufserste Vorsicht auf seine Erhaltung gerichtet werden. Man darf alsdann keine Beschädigung seiner Oberfläche gestatten. Die zur Instandhaltung des Deiches erforderliche Erde mufs anderweitig entnommen, auch der weitere Abbruch des Ufers durch unmittelbare Deckung desselben oder durch Buhnen-Anlagen verhindert werden. Wenn indessen die hierzu erforderlichen sehr grofsen Geldmittel, wie oft der Fall ist, nicht beschafft werden können, so wird die Vertheidigung des Deiches immer schwieriger und zweifelhafter, und endlich tritt der Zeitpunkt ein, wo die weitere Erhaltung des Deiches theils wegen der grofsen Kosten und theils auch wegen der augenscheinlichen Gefahr nicht mehr möglich ist. Alsdann mufs man sich zur Zurücklegung desselben entschliefsen. In diesem Falle gewinnt die Frage in Betreff der nothwendigen Breite des Aufsendeiches vorzugsweise Bedeutung.

Die Beantwortung derselben hängt ohne Zweifel von manchen äufsern Umständen ab, und läfst sich daher nicht allgemeingültig fassen. Nichts desto weniger mag erwähnt werden, dafs Woltman*) eine Breite des Vorlandes von 20 bis 24 Hamburger Ruthen (330 bis 400 Rheinländischen Fufsen) am Meer und an grofsen Flüssen in den meisten Fällen für ausreichend hält. Caland dagegen, auf dessen Urtheil die Niederländischen Ingenieure häufig Bezug nehmen, ist der Meinung, dafs man selbst unter günstigen Verhältnissen

*) Beiträge zur hydraulischen Architectur II. Seite 6.

die Annäherung der Uferbrüche nicht auf weniger, als 50 Ruthen dürfe kommen lassen, und bei gefährlicher Lage des Deiches man die Uferdeckung schon vornehmen müsse, sobald die Breite des Vorlandes sich bis auf 80 Rheinländische Ruthen vermindert hat.

Die Zurücklegung eines Deiches kann indessen nicht erfolgen, wenn unmittelbar hinter demselben reiche Ortschaften oder ein wichtiger Hafen liegt. Alsdann bleibt nur übrig, mit Aufbietung aller Kräfte ihn zu erhalten, selbst wenn der Aufsendeich ihm vollständig fehlt und ein sehr tiefer Strom unmittelbar vor ihm vorbeistreicht. Ein höchst wichtiges Beispiel hiervon ist der Deich, der sich auf dem nördlichen Ufer von Nord-Holland, der Insel Texel gegenüber, von Huisduinen bis zur Mündung des Hafens Nieuwen-Diep hinzieht. Er ist eine halbe Deutsche Meile lang und unmittelbar neben ihm zieht sich das Marsdiep hin, das durchschnittlich 100 Fufs, stellenweise sogar 120 Fufs tief ist. Die gröfste Tiefe desselben befindet sich immer sehr nahe am Fufse des Deiches, besonders hat sie sich in einer flachen Bucht vor dem Helder ausgebildet, woselbst einige kurze Buhnenköpfe vor dem Deiche erbaut sind. Fig. 28 zeigt die ganze Situation.

Das Marsdiep bildet eine der Hauptverbindungen der Südersee mit der Nordsee, und da sie unter diesen die westlichste ist, so tritt in ihr die Fluth und Ebbe zuerst ein und verursacht die stärkste Strömung. Die etwa 6 Meilen entfernte sehr weite Oeffnung zwischen Vlieland und Terschelling kommt erst $1\frac{1}{2}$ Stunde später in Wirksamkeit, also wenn die Südersee bereits durch das Marsdiep zum Theil gefüllt oder entleert ist. Hieraus erklärt sich die starke Strömung und grofse Vertiefung des Letzteren.

Fig. 29 zeigt ein Profil des Deiches und seiner Befestigung. Die Krone liegt durchschnittlich 14 Fufs über dem gewöhnlichen Hochwasser, der Fluthwechsel beträgt aber, wie schon früher erwähnt, etwa $3\frac{1}{2}$ Fufs. Die Steinböschung hat über dem Hochwasser eine acht- bis zehnfache Anlage. Zwischen dem Hoch- und Niedrigwasser ist sie auch noch ziemlich flach und schliefst sich in der Höhe des Niedrigwassers an ein Banket von 1 Ruthe Breite an. Von hier fällt die Böschung sehr steil, nämlich mit ein und einhalbfacher, stellenweise sogar nur mit einfacher Anlage auf die Sohle des Stromes herab. Wie stark die Steindecke hier sein mag, ist unbekannt, da sie schon während Jahrhunderten nach und nach

aufgebracht ist. Gegenwärtig kommen bedeutende Beschädigungen nur selten vor, doch zeigen sich in jedem Jahre stellenweise Bewegungen, wobei die Steine herabrollen und durch neue Nachschüttungen ersetzt werden müssen. Man verwendet jährlich 400 bis 500 Last Granit-Blöcke (also etwa 100 Schachtruthen), die aus Norwegen und Schweden bezogen werden, und von denen jeder wenigstens 100 Pfund wiegen soll, die aber meist viel schwerer sind.

Wenn in der Böschung irgend wo eine Bewegung erfolgt, so pflegt dieselbe sich soweit fortzusetzen, dafs wenigstens die äufseren Steine des Bankets daran Theil nehmen, und so wird man schon durch den Augenschein auf die erfolgte Senkung aufmerksam gemacht. Nichts desto weniger bleibt doch zu besorgen, dafs möglicher Weise bei der grofsen Tiefe das Nachstürzen durch festes Ineinandergreifen der obern Steine verhindert wird, auch kann leicht eine Stelle, die zufällig etwas flacher geböscht war, eine steilere Neigung annehmen und sonach der Bewegung eine Grenze setzen wenn auch darunter der Fufs des Deiches entblöfst wurde. Um solche Veränderungen sicher zu bemerken, werden in jedem Jahre bei günstiger Witterung sehr sorgfältige Tiefen-Messungen und zwar an bestimmten Stellen wiederholt. Man mifst in Abständen von 6 bis 7 Ruthen die Profile der Böschung bis jenseits ihres Fufses. Alsdann kann man durch Vergleichung mit den früheren Messungen auf die inzwischen eingetretenen Veränderungen schliefsen. Noch mufs bemerkt werden, dafs die Dossirung über Wasser mit sehr grofsen Granit- und Basalt-Blöcken auf einer starken Unterlage von Ziegelbrocken und Kies gegenwärtig zum Theil abgepflastert ist, und hiermit in jedem Jahre fortgefahren wird.

Wenn dieser Deich auch vorzugsweise ungünstig situirt ist und daher seine Erhaltung die äufserste Anstrengung erfordert, so wiederholt sich doch mehrfach an den Niederländischen Küsten, wenn gleich in geringerem Maafse, dasselbe Verhältnifs. Storm Buysing meint, dafs der Vorwurf der Vernachlässigung des Aufsendeiches sogar die Mehrzahl der Niederländischen Deiche trifft.

§. 14.
See-Marschen.

Marschen nennt man die fruchtbaren Wiesen und zum Theil auch Ackerländereien, die so tief liegen, dafs sie ohne den Schutz der Deiche vom Hochwasser der daneben befindlichen Ströme oder See inundirt werden würden. Sie sind aus Alluvionen entstanden, zeigen eine sehr ebene Oberfläche und ihr Boden besteht aus feinen Thontheilchen und vegetabilischen Stoffen, denen häufig auch mehr oder weniger Sand und andere Bestandtheile, die das Wasser herbeiführte, beigemengt sind. Die Geest ist dagegen das höhere Terrain, das vom Hochwasser nicht erreicht wird, und in Bezug auf seine Fruchtbarkeit der Marsch weit nachsteht.

Bei den an der See belegenen Marschen tritt das eigenthümliche Verhältnifs ein, dafs sie unter günstigen Umständen noch in grofser Ausdehnung aus weiten Wasserflächen emporwachsen. In welchen Fällen dieses geschieht, ist in §. 12 ausführlich erörtert. Wo das Fluthwasser mit Schlick stark versetzt ist, läfst es denselben fallen, sobald es zur Ruhe kommt. Hierdurch hebt sich in Meeresbuchten oder an andern geschützten Stellen die Sohle, es entstehn Untiefen, und sobald diese so hoch aufgewachsen sind, dafs sie bei der Ebbe trocken werden, so nennt man sie Watte. Die Oberfläche der letzteren, die nie austrocknen kann, weil jedes Hochwasser sie überfluthet, besteht aus sehr losem Schlamm, in den man tief einsinkt, wenn man sie zu betreten versucht, man kann indessen auf einem Watte, das bis zur halben Fluthhöhe angewachsen ist, schon ohne Mühe gehn, auch ohne Ueberdeckung des Bodens die verschiedensten Arbeiten darauf ausführen lassen.

Das Watt ist, wenn es keinen Sand enthält, mittelst eines leichten Schlittens auch schon zugänglich, wenn es nur so eben über das niedrige Wasser vortritt. Um die Krabben oder kleinen Seekrebse zu fangen, die in grofser Menge darauf zurückbleiben, wird es am Dollard auf einem sehr dünnen, unten geglätteten und mit niedrigen vorstehenden Rändern versehenen Brettchen befahren. Dasselbe hat in der Mitte eine leichte Rüstung und eine gabelförmige Bank. Auf letzterer ruht das linke Knie des Fischers, während derselbe sich gegen die Rüstung lehnt. Mit dem rechten Fufse

stöfst er aber gegen den Boden und schiebt dadurch den Schlitten sehr schnell fort, in ähnlicher Weise wie einen Piek - Schlitten. Auch auf den Watten vor den Ufern von Ritzebüttel an der Mündung der Elbe hat man mit günstigem Erfolge ähnliche nachenförmige Vorrichtungen benutzt, worin Baumaterialien transportirt wurden. Dieselben sind aus halbzölligen Brettern zusammengesetzt, 20 Fufs lang, 3 Fufs 4 Zoll breit und nur 7 Zoll hoch. Der Boden ist an den Rändern abgerundet. Zwei Männer schieben sich darin mittelst Stangen fort, die an ihren untern Enden mit kurzen Querbrettchen versehn sind, um ein zu tiefes Eindringen zu verhindern. Diese Vorrichtungen sind aber nur zu benutzen, wenn die Oberfläche des Wattes aus reinen Thontheilchen besteht und von jeder sandigen Beimengung frei ist. Findet sich die letztere darin vor, so ist der Grund schon bedeutend fester, und man kann mit weniger Anstrengung darauf gehn.

Noch ehe das Watt die Höhe der halben Fluth erreicht hat, findet sich darauf einige Vegetation von sehr salzhaltigen Gewächsen, und indem diese die Bewegung des Wassers merklich schwächen, so wird demselben die Gelegenheit geboten, die darin schwebenden Schlammtheilchen vollständiger fallen zu lassen. Das Watt wächst alsdann viel schneller, als bisher auf. Sobald es soweit empor gestiegen ist, dafs es nur noch kurze Zeit hindurch vom Hochwasser bedeckt, und bei todten Fluthen von demselben gar nicht mehr erreicht wird, so überzieht es sich mit einer festen Grasnarbe. Man nennt es alsdann Groden oder Maifeld. Die weitere Erhöhung hört noch keineswegs auf, so wie überhaupt dafür keine bestimmte Grenze bezeichnet werden kann, aber sie erfolgt natürlich um so langsamer, je seltener und je niedriger die Ueberfluthung durch trübes Wasser erfolgt. Im Oldenburgischen betrachtet man den Boden als reif, oder als hinreichend hoch angewachsen, um mit Vortheil eingedeicht zu werden, wenn er sich ungefähr 1 Fufs über das gewöhnliche Hochwasser erhebt.

Das Gesetz, nach welchem der Boden sich erhöht, läfst sich leicht allgemein bezeichnen. Setzt man nämlich die Höhe des Niederschlages in einem Hochwasser gleich $\frac{1}{m}h$, wo h die Höhe ist, in welcher die Fluth über die untersuchte Stelle tritt, so wird der Wasserstand beim Eintritt der nächsten Fluth nur noch

$$h\left(1-\frac{1}{m}\right)$$

also die Höhe des zweiten Niederschlages nur

$$\frac{1}{m}\,h\left(1-\frac{1}{m}\right)$$

sein und so fort. Hieraus ergiebt sich, dafs die Tiefe, die ursprünglich h war, nach der $n$ten Fluth nur noch

$$h\left(1-\frac{1}{m}\right)^n$$

sein wird. In einem Jahre treten durchschnittlich 706 Fluthen ein, also in einem Monat 59. Durch Einführung dieser Zahlen und ihrer Vielfachen für n kann man, sobald der Thongehalt im Fluthwasser und die Höhe des anwachsenden Wattes bekannt ist, leicht seine Höhe nach einer gewissen Zwischenzeit berechnen.

Beispielsweise setze ich $m = 1000$, d. h. aus Tausend Theilen Fluthwasser scheidet sich bei jeder Fluth 1 Theil feste Masse ab, und zwar bezieht sich das angenommene Verhältnifs nicht auf das Gewicht, sondern auf das Volum. Die Höhe des ersten Niederschlages würde also 1 Linie betragen, wenn das Watt bei der Fluth 7 Fufs hoch mit Wasser bedeckt würde. Ein solcher Niederschlag ist allerdings sehr grofs, aber dennoch dürfte er in der Wirklichkeit zuweilen noch gröfser sein. Wenn ferner h gleich 10 Fufs gesetzt, und zugleich angenommen wird, dafs das geklärte Wasser bei der Ebbe vollständig abfliefst, also bei jeder Fluth immer neues trübes Wasser und zwar immer in derselben Höhe darüber tritt, so würde die Wassertiefe in folgender Weise sich nach und nach vermindern.

Nach	1	Monat	9,43 Fufs
-	2	Monaten	8,90 -
-	3	-	8,40 -
-	4	-	7,92 -
-	5	-	7,47 -
-	6	-	7,05 -
-	7	-	6,65 -
-	8	-	6,27 -
-	9	-	5,92 -
-	10	-	5,58 -
-	11	-	5,27 -

nach	12 Monaten oder 1 Jahr	4,97	Fufs
-	2 Jahren	2,47	-
-	3 -	1,23	-
-	4 -	0,61	-
-	5 -	0,30	-
-	6 -	0,15	-
-	7 -	0,075	-
-	8 -	0,037	-
-	9 -	0,019	-
-	10 -	0,009	-

Bei dem angenommenen Thongehalt des Fluthwassers vermindert sich, wie vorstehende Tabelle zeigt, die Tiefe in jedem Jahre um etwas mehr, als die Hälfte. Die Verminderung würde genau die Hälfte betragen, wenn der Thongehalt ein wenig geringer angenommen, oder $m = 1011$ gesetzt wäre.

In dieser Untersuchung, deren Resultate im Allgemeinen sich an die Erfahrung anschliefsen, ist die Voraussetzung gemacht worden, dafs die Fluth jedesmal eine gleiche Höhe erreicht, und zwar wird man bei der Bestimmung von h die mittlere Höhe der Fluth zum Grunde legen. Bis zu derselben kann aber unter dieser Voraussetzung das Watt niemals anwachsen, oder die übrig bleibende Differenz, die in jedem Jahre sich in einem bestimmten Verhältnisse vermindert, kann niemals vollständig verschwinden. In der Wirklichkeit gestaltet die Erscheinung sich ganz anders, wie bereits erwähnt ist, indem die Fluthen häufig diese mittlere Höhe nicht erreichen, in andern Fällen aber sie sehr bedeutend übersteigen. Schon zur Zeit der Springfluthen findet zum Theil das letztere statt, aber noch höher schwellen die Fluthen bei starken Stürmen an. Wenn alsdann das Wasser auch sehr bewegt ist, und sonach der Niederschlag der Thontheilchen keineswegs vollständig erfolgt, so giebt die starke Wellenbewegung andrerseits Veranlassung, dafs auch der Thongehalt des Fluthwassers ungewöhnlich grofs ist. Die Wellenbewegung wird aufserdem, wenigstens in den tiefern Schichten, die sich zunächst über dem Boden befinden, durch die Vegetation auf dem bereits hoch liegenden Watte sehr gemäfsigt, und sonach zeigen sich nach den höchsten Fluthen auch sehr starke Schlickablagerungen, selbst wenn das Watt schon bis zur Höhe der gewöhn-

lichen Fluthen angewachsen war. Letztere bildet also keineswegs die äufserste Grenze der Erhöhung, vielmehr wächst das Watt und namentlich neben den Ufern, wo die Strömung am geringsten ist, noch einige Fufs darüber empor.

Um den neuen Groden möglichst bald in vollem Maafse nutzbar zu machen, werden gemeinhin die Anträge zu seiner Eindeichung schon gestellt, sobald er nur die Höhe der mittleren Fluthen erreicht und mit Grasnarbe sich überzogen hat. Indem der mittlere Fluthwechsel an der Deutschen Nordsee-Küste über 10 Fufs beträgt, so rechtfertigt sich ein solches Verlangen, wenn man nur die Möglichkeit einer Entwässerung unter den dermaligen Verhältnissen in Betracht zieht. Diese gestalten sich aber oft im Laufe der Zeiten ganz anders. Wenn nämlich noch andere Flächen vor diesen später eingedeicht, also die Abzugsgräben verlängert werden müssen, deren absolutes Gefälle sich nicht vergröfsern läfst, so nimmt das relative Gefälle immer mehr ab. Besonders pflegt aber die Entwässerung mangelhaft zu werden, wenn der vor dem Deiche liegende Theil des Entwässerungs-Grabens oder das Siel-Tief eine bedeutende Länge annimmt, weil dieses im höchsten Grade der Verschlickung ausgesetzt ist. Sodann darf auch die spätere Senkung des eingedeichten Grodens nicht unbeachtet bleiben, die eine ausführliche Erörterung fordert. Hierzu kommt endlich noch, dafs der Deich selbst um so kostbarer in seiner Anlage und Unterhaltung wird und um so gröfserer Gefahr ausgesetzt bleibt, je niedriger das vor und hinter ihm belegene Terrain ist.

Diese Umstände fordern dringend, dafs man die Eindeichung eines Grodens nicht zu früh vornehme, vielmehr dieselbe bis zu dem Zeitpunkte aussetze, wo der Groden das Maximum seiner Höhe nahe erreicht hat, er also nur sehr wenig noch anwachsen kann. In früherer Zeit sind in dieser Beziehung vielfach und wahrscheinlich sogar gewöhnlich, sehr grofse Mifsgriffe vorgekommen, wodurch die Erhaltung der Deiche eben so wie die Entwässerung übermäfsig erschwert ist. In den Niederlanden wiederholt sich sogar vielfach die Erscheinung, dafs Polder, die ursprünglich ohne Zweifel bei jedem Niedrigwasser trocken wurden, weil in so früher Zeit die Eindeichung sonst nicht ausgeführt wäre, gegenwärtig der natürlichen Entwässerung ganz entbehren, und nur durch Schöpfmühlen noch entwässert werden können.

Sobald der Groden eingedeicht, also dem ferneren Zutritt des Fluthwassers entzogen ist, so hört seine weitere Erhöhung auf, aufserdem veranlafst aber auch die dauernde und regelmäfsige Entwässerung, dafs er zusammentrocknet und die Höhe verliert, die er ursprünglich hatte. Bei dem thonigen Marschboden, der an der Deutschen Nordsee-Küste gewöhnlich vorkommt, ist diese Senkung weniger erheblich. Besonders auffallend ist sie aber, wenn das Terrain zur Zeit der Eindeichung noch nicht hoch angewachsen, also noch sehr nafs und schlammig war. Selbst das Setzen der Deiche, das vor den neuen Groden viel stärker zu sein pflegt, als man gewöhnlich annimmt, rührt zum Theil von der Compression des Untergrundes her, die bei der bedeutenden Belastung sehr grofs ist.

Ganz anders und viel bedenklicher gestalten sich die Verhältnisse, wenn der Untergrund aus Moor oder Torf besteht. Das wichtigste Beispiel in dieser Beziehung ist die Provinz Nord-Holland, in der sehr ausgedehnte Torflager vielfach unter der fruchtbaren Erde angetroffen werden, und wo die Entwässerung, wie historisch nachgewiesen ist, von Jahrhundert zu Jahrhundert immer gröfsere Schwierigkeiten bietet. Schon zur Zeit der Römischen Herrschaft bestanden hier wahrscheinlich einige Eindeichungen, doch hat deren Verbindung und die regelmäfsige Umschliefsung des ganzen Landes in der Form, die es zum Theil noch hat, nach Velsen, erst im 11. oder 12. Jahrhunderte statt gefunden. Gegenwärtig liegt das Terrain, mit Ausnahme der in neuerer Zeit eingedeichten Polder, nirgend über dem mittleren Wasserspiegel der See, und vielfach erreicht es selbst diesen nicht. Die natürliche Entwässerung hat daher aufgehört und das Binnenwasser mufs künstlich gehoben werden. Wenn also die Deiche nicht existirten, so würden zur Zeit des Hochwassers nur die Dünen an der westlichen Küste darüber hervorragen, während das ganze übrige Land nichts andres, als ein Watt wäre, das zum Theil nur einen geringen Wasserstand über sich hätte, grofsentheils aber so tief läge, dafs es selbst bei niedrigem Wasser noch mehrere Fufs hoch von demselben bedeckt bliebe. Ein solches Terrain und zwar unmittelbar neben der See trocken zu legen und urbar zu machen, würde man selbst heutiges Tages Bedenken tragen; man mufs es aber für ganz unmöglich halten, dafs in damaliger Zeit ein Watt dieser Art zum Aufenthalte gewählt werden

konnte, da überdiefs die Mittel zur künstlichen Entwässerung ganz unbekannt waren.

Hiernach unterliegt es keinem Zweifel, dafs der Boden von Nord-Holland in früherer Zeit gegen den Meeresspiegel bedeutend höher lag, als gegenwärtig. Die Annahme, dafs das Meer sich im Allgemeinen gehoben habe, ist weder an sich wahrscheinlich, noch wird dieselbe durch irgend welche andre Wahrnehmungen bestätigt, und eben so wenig ist die Voraussetzung zulässig, dafs der Boden in Folge von Bewegungen im Innern der Erde, etwa wie die Schwedische Küste, seine Höhenlage verändert habe. Auch die Vermuthung, die Brünings ausgesprochen hat, dafs nämlich der Wasserstand der Süder-See sich gehoben habe, ist weder durch Messungen bestätigt, noch auch an sich wahrscheinlich. Brünings meint nämlich, dafs die Süder-See in früherer Zeit durch einen, oder mehrere sehr tiefe Meeres-Arme mit der Nordsee in Verbindung stand, die, indem sie nach und nach sich vervielfältigten, gröfsere Durchflufsweiten annahmen, aber an Tiefe verloren, woher gegenwärtig zwar die Fluthen noch vollständig eindringen, aber die Ebben wegen ungenügender Tiefe in den Ausflufs-Mündungen keine so starke Senkung des Wasserstandes, wie früher veranlassen können. Erscheinungen dieser Art zeigen sich allerdings vielfach in kleineren Buchten neben dem Meere, aber wenn die bei der Fluth eingedrungene Wassermasse sehr grofs ist, so findet auch eine starke Ausströmung statt, und hierdurch bildet sich ein tiefes Bette, worin die Ebbe vollständig abfliefst. Jedenfalls müfste, wenn dieses hier nicht wäre, der mittlere Wasserstand in der Süder-See höher sein, als in der Nordsee, was die Nivellements nicht ergeben haben.

Die verschiedenen älteren Polder in Nord-Holland liegen gegenwärtig 2 bis 5 Fufs unter dem gewöhnlichen Hochwasser der Süder-See. In neuerer Zeit hat man einzelne noch bedeutend tiefere Flächen dazwischen eingedeicht und trocken gelegt, die man Meere nennt. Von diesen ist hier nicht die Rede, aber wichtig ist die Thatsache, dafs die Marken des Sommerwasserstandes, oder die Tiefe, bis zu welcher aus jenen älteren Poldern das Wasser abgemahlen wird, von Jahrhundert zu Jahrhundert immer gesenkt werden mufsten.

Die Academie der Wissenschaften zu Haarlem stellte 1759 zur Preisbewerbung die Frage, ob das Sinken des Bodens in der Pro-

vinz Holland vergleichungsweise zum Spiegel der Nordsee sich sicher nachweisen lasse. Der Preis wurde Lulofs zuerkannt. Derselbe bewies durch Zusammenstellung vielfacher Nachrichten und namentlich durch Vergleichung der in verschiedenen Zeiten erlassenen Bestimmungen über die Mühlenpegel, dafs eine solche Senkung wirklich eingetreten sei und noch fortdaure. Dabei wurde freilich vorausgesetzt, dafs diese Mühlenpegel (maalpeil) unverändert in ihrer ursprünglichen Höhe geblieben sind. Diese Annahme ist indessen wohl zulässig, da absichtliche Aenderungen bei der grofsen Wichtigkeit des Gegenstandes nicht unbemerkt bleiben konnten und noch weniger zu vermuthen ist, dafs eine veränderte Höhenlage des Deiches die Ursache der Erhöhung des Binnenwassers gewesen sei. Der Deich müfste nämlich in diesem Falle zugleich mit der Mühle sich gehoben haben, was jedenfalls unmöglich ist. Dagegen kann der Deich, dessen Untergrund gleich Anfangs comprimirt worden war und zugleich wegen des freien Zutrittes des Wassers von der einen Seite einer zunehmenden Austrocknung nicht ausgesetzt blieb, an dieser allgemeinen Senkung des Binnenlandes nicht Theil nehmen. Das Resultat, zu dem Lulofs gelangte, war, dafs nach den Erfahrungen seit dem Jahre 1250 das Binnenland in jedem Jahrhundert 17 Zoll sinkt.*)

In den neuern hydrotechnischen Schriften, die in den Niederlanden erschienen sind, habe ich vergeblich Mittheilungen über diesen wichtigen Gegenstand gesucht. Hiernach scheint in dem letzten Jahrhunderte eine weitere Senkung des Bodens nicht eingetreten zu sein. Dagegen mufs erwähnt werden, dafs ähnliche Erscheinungen auch in Ost-Friesland bemerkt sind.**) Im Jahre 1605 wurde nämlich das Altbunder Land am Dollard eingedeicht, 1648 mufste für dasselbe schon eine künstliche Entwässerung eingerichtet werden, und 1819 lag es bereits 7 Fufs unter dem Aufsendeiche. Der 1682 eingedeichte Charlotten-Polder vor dem Altbunder Lande lag 1819 dagegen $3\frac{1}{2}$ Fufs und der 1702 eingedeichte Christian-Eberhards-Polder 2 Fufs unter dem Aufsendeiche. Der 1795 eingedeichte Heinitz-Polder befand sich in derselben Zeit auch schon 9 Zoll unter

*) Woltman, Beiträge zur hydraulischen Architectur. IV. Band, Seite 121 ff.

**) Reinhold, Hydrographie von Ost-Friesland in Crelle's Journal für die Baukunst. Band XIII.

dem Aufsendeiche. Hierbei ist die Vergleichung mit dem Aufsendeiche allerdings sehr unsicher, indem die Höhe desselben sich stets verändert, nichts desto weniger ergiebt sich dennoch unzweifelhaft aus dieser Zusammenstellung, dafs auch hier eine sehr auffallende Senkung des eingedeichten Landes statt gefunden hat, die sogar gröfser als in Nord-Holland zu sein scheint.

Die bereits erwähnten Uebelstände und Gefahren, die aus einer zu niedrigen Lage der Polder entspringen, können zuweilen so grofs werden, dafs man sich endlich entschliefsen mufs, eine Abhülfe zu schaffen, wenn diese an sich auch wieder höchst bedenklich ist. Das Mittel besteht darin, dafs man den Deichen die grofse Höhe nimmt, und sie in Sommerdeiche verwandelt. Für gewöhnliche Springfluthen bieten sie alsdann noch Schutz, sobald aber Sturmfluthen eintreten, fliefst das Wasser in weiten und gehörig gesicherten Ueberlässen ein. Die eingedeichten Flächen füllen sich bald an, die Gefahr vor Deichbrüchen wird also auf diese Weise sehr sicher vermieden und es wird zugleich der grofse Vortheil erreicht, dafs aus dem abgefangenen Wasser, welches bei dem starken Wellenschlage eine grofse Menge Thontheilchen in sich aufgenommen hatte, und das sich zwischen den Deichen sehr vollständig klärt, ein sehr bedeutender Niederschlag gewonnen wird. Auf diese Weise wächst das Land, obwohl es eingedeicht ist, nach und nach wieder weiter auf und erreicht endlich solche Höhe, dafs die Deiche ohne Gefahr über die höchsten Sturmfluthen heraufgeführt werden können. Dafs ein solches Verfahren mit grofsen Unbequemlichkeiten und Nachtheilen für die öconomischen Verhältnisse verbunden ist, bedarf kaum der Erwähnung. Von der Benutzung des Bodens zum Getreidebau mufs man alsdann ganz absehn, er darf nur Weide bleiben. Man mufs aufserdem für erhöhte Plätze oder Warfen sorgen, auf die das Vieh getrieben werden kann, sobald das Eindringen der See besorgt wird, und auf diesen hohen Stellen müssen hinreichende Vorräthe von Regenwasser gesammelt sein, da alle Gräben der Marsch sich mit Seewasser anfüllen. Endlich müssen auch die Dörfer und einzelnen Höfe auf solchen Aufschüttungen erbaut werden, damit sie vom Wasser nicht zu sehr leiden und bewohnbar bleiben. Die Communication beschränkt sich endlich in solcher Zeit allein auf den Verkehr mit Böten.

Es leuchtet ein, dafs man zu diesem Mittel nur in der äustersten

Noth greifen wird, und dennoch hat man sich auf der Insel Marken und an der östlichen Seite der Süder-See bei Kampen dazu entschliefsen müssen.

Es war bisher nur von dem Verhalten des Grodens nach seiner Eindeichung die Rede; über das Entstehen desselben, und über die Mittel, wodurch man dieses befördern kann, bleibt noch Einiges mitzutheilen. Zuweilen werden schon künstliche Anlagen gemacht, um die Bildung der Watten einzuleiten, dieses geschieht indessen doch nur selten, weil die Erfolge zu unsicher, und die erforderlichen Ausführungen zu kostbar sind. Es kommt vor Allem darauf an, die Bewegung des Wassers, sowol die Strömung, als den Wellenschlag zu unterbrechen und zu mäfsigen, und dieses geschieht, indem man durch Zäunungen oder andre solidere Werke, also etwa durch Buhnen in der Wasserfläche kleinere abgeschlossene Bassins bildet. Eine ziemlich bedeutende Anlage dieser Art wurde vor wenigen Jahren im Oldenburgischen ausgeführt, indem man, um den Jade-Busen schneller zur Verlandung zu bringen, von dessen östlichem Ufer ein Werk von nahe einer Meile Länge über die zum Theil noch sehr niedrigen Watte fort nach den Inseln, die Ober-Ahnischen Felder genannt, hinüberführte. Solche Anlagen sind indessen bei Stürmen der Zerstörung in hohem Maafse ausgesetzt und bedürfen also einer sehr soliden Construction. Man begnügt sich daher gemeinhin mit viel einfacheren Arbeiten, die zum Theil gleichfalls auf sehr niedrigen Watten schon mit Erfolg vorgenommen werden.

In Friesland und am Laauwer See werden Flechtzäune normal gegen das Ufer auf dem Watte gezogen, die also buhnenartig die Bewegung des Wassers etwas mäfsigen. Wenn hierbei auch vielfache Beschädigungen vorkommen, so ist der Nachtheil nicht bedeutend und die Wiederherstellung leicht. Sobald die Erhöhung in so weit erfolgt ist, dafs das Watt einige Consistenz annimmt, so beginnt die Graben-Arbeit. Man zieht wieder normal gegen das Ufer in Abständen von 2 Ruthen flache Gräben von 5 Fufs Breite und 1 bis 1½ Fufs Tiefe, die bis 1000 Fufs lang sind. Die ausgehobene Erde wird in die Zwischenräume möglichst gleichmäfsig verbreitet. Auf diese Art entsteht eine wellenförmige Oberfläche. Man bezweckt dabei vorzugsweise, beim Eintritt der Ebbe in den Gräben selbst, die man Grippen nennt, die thonigen Theilchen aus dem

Wasser aufzufangen. Aus diesem Grunde giebt man den Gräben am untern Ende keinen Abfluſs, vielmehr werden sie absichtlich gesperrt, damit das Wasser darin lange zurückgehalten wird, und sich vollständig klären kann. Auf diese Art füllen sich die Grippen in kurzer Zeit mit Schlamm an, und derselbe wird alsdann aufs Neue ausgestochen und auf die zwischen liegenden höheren Flächen geworfen. Man kann diese Arbeit drei bis viermal in einem Jahre wiederholen und dadurch allerdings eine merkliche Erhöhung des Wattes veranlassen.

In der Provinz Seeland werden solche Anlagen in der Art ausgeführt, daſs man nicht Gräben bildet, in welchen das Wasser zurückgehalten wird, vielmehr stellt man auf dem Watte weite Bassins oder Schlickfänge dar, die denselben Zweck erfüllen sollen. In Abständen von 60 bis 100 Fuſs werden normal gegen das Ufer flache Erddämme aufgeworfen, die 1 bis 1½ Fuſs hoch und seitwärts mit dreifacher oder vierfacher Anlage abgeböscht sind. Damit sie aber vom Wellenschlage weniger leiden, so bedeckt man sie mit einer Strohlage, die durch eine leichte Bestickung befestigt wird, Die in solcher Weise gebildeten Felder schlieſst man auch auf der äuſsern Seite ab, indem man hier eine Lage Faschinen vorlegt, die von drei Flechtzäunen gehalten wird. Diese Faschinen kehren ihre Wipfelenden dem Ufer zu, und ihr Zweck ist vorzugsweise, das Abflieſsen des dünnen Schlammes zu verhindern, der sich in ihnen fangen soll. Die Wirkung dieser Schlickfänge wird sehr gerühmt, aber ihre Ausführung und Unterhaltung ist auch sehr kostbar.

Aehnliche Anlagen empfahl schon Woltman, doch rieth derselbe, die Dämme bis über die gewöhnliche Fluth zu erhöhen, und durch Strauch zu befestigen. Sie sollten nach seiner Angabe 10 Ruthen von einander entfernt sein, aber auch seeseitig die einzelnen Felder umschlieſsen, indem jedes derselben nur eine schmale Oeffnung behält, durch welche das Wasser aus- und eintreten kann.

Die Begrippungen kommen im Oldenburgischen vielfach vor, und zwar werden sie nicht nur im Busen der Jade fortwährend ausgeführt, sondern man hat sie vor längerer Zeit auch an der Mündung der Weser versucht. Im Allgemeinen befolgt man dabei dasselbe Verfahren, wie in der Provinz Friesland, indem man in dem Watte vertiefte Rinnen oder Gräben darstellt, und dieselben immer aufs Neue aushebt, so oft sie sich angefüllt haben. Diese Grippen sind

etwa 10 Fufs breit und 2 Fufs tief, und ihr gegenseitiger Abstand mifst 20 bis 40 Fufs. Man führt dieselben zuweilen sehr weit in das Watt hinaus, namentlich soll dieses in früherer Zeit geschehn sein. Die Arbeiter konnten alsdann nicht mehr zu Fufs nach der Baustelle geschickt werden, weil sonst das Hin- und Hergehn, das auf dem weichen Boden überaus anstrengend ist, zu viel Zeit erfordert, und die Dauer der jedesmaligen Arbeit zu sehr verkürzt haben würde. Sie fuhren daher in der letzten Ebbe in Böten nach der Stelle, wo die Grippungen vorgenommen werden sollten, und konnten, sobald das Wasser weiter zurücktrat, sogleich die Arbeit beginnen, und dieselbe so lange fortsetzen, bis die Fluth die Baustelle wieder erreichte. Zum Ausheben der Erde bedienten sie sich einer Art Schaufel, die jedoch mit dem Stiele einen spitzen Winkel bildete, und einem gewöhnlichen Handbagger ähnlich war. Man pflegte sogar Dielen mitzunehmen, welche auf den Boden geworfen wurden, und worauf die Arbeiter standen, weil sie sonst in den weichen Schlamm tief eingesunken wären, und dadurch die Arbeit aufserordentlich erschwert sein würde. Gegenwärtig ist man von dieser weiten Ausdehnung der Gräben zurückgekommen, und beschränkt dieselben nur noch auf die Nähe des Ufers und auf die höheren und festeren Watte. Man geht damit aber jedesmal über die Grenze der natürlichen Vegetation hinaus. Letztere darf nicht gestört werden, denn ihre Wirkungen sind, wie im Oldenburgischen allgemein anerkannt wird, für die Erhöhung des Bodens weit günstiger, als die künstlichen Mittel, die man zu demselben Zwecke anwenden könnte.

Aufserdem verfolgt man hier in neuerer Zeit eine ganz andre Absicht, als oben bezeichnet wurde. Man will nämlich durch die wellenförmige Umgestaltung des Bodens dem Wasser zwar auch die Gelegenheit bieten, dafs es in seinen untern Schichten und namentlich in den Gräben selbst sich möglichst beruhige und den Schlamm absetze, aber aufserdem betrachtet man die vollständigere Ableitung des Wassers als einen Hauptzweck dieser Gräben. Dieselben werden daher keineswegs an ihren untern Enden geschlossen, vielmehr wo möglich nach etwas tieferen Rillen oder nach Senkungen in dem Watte geführt, so dafs bei der Ebbe das Wasser recht schnell abfliefst, und der Schlamm während der Zeit, dafs er frei liegt, Gelegenheit hat, sich fester abzulagern, wodurch er der Gefahr entzo-

gen wird, bei den folgenden Fluthen, besonders wenn starke Wellenbewegung mit diesen eintreten sollte, wieder fortgespült zu werden.

Diese letzte Rücksicht ist gewifs von grofser Bedeutung. Man darf nämlich nicht unbeachtet lassen, dafs bei Stürmen auch von dem in der Ausbildung begriffenen Watt wieder grofse Massen des bereits niedergeschlagenen Schlammes sich lösen. Dieses wird aber keineswegs dadurch verhindert, dafs das Wasser vielleicht schon stark mit erdigen Theilchen versetzt war, denn bei dieser rein mechanischen Vermengung giebt es keinen Sättigungspunkt. Dagegen ist die Wellenbewegung dem Watte weniger nachtheilig, wenn dessen Oberfläche einigermaafsen ausgetrocknet ist, und dieses wird befördert, wenn man durch leichte Gräben und durch Aufräumung der natürlichen Rillen für den vollständigen Abflufs des Wassers sorgt. Diese Vorsicht allein ist daher schon ein wirksames Mittel zur Beförderung des Anwachsens der Watte.

Am Dollard sind die Anlagen zum Auffangen des Schlickes viel complicirter, indem man nicht nur das Wasser beruhigen, sondern auch eine möglichst sanfte und dennoch vollständige Ausströmung zur Zeit der Ebbe veranlassen will. In dem bereits erwähnten Werke, betitelt „de Dollard" sind im fünften Abschnitte diese Arbeiten sehr ausführlich, mit Angabe der verschiedenen Abweichungen, die stellenweise vorkommen, behandelt. Fig. 30 stellt im Allgemeinen die Anordnung dar. Man bildet kleine oblonge Flächen, deren lange Seiten mit dem Deiche parallel und achtmal so lang, als die kurzen sind. Jede derselben wird an den kurzen Seiten einmal durch den etwas erhöhten Weg *AA* und gegenüber durch den Ableitungs-Graben *BB* begrenzt. An den langen Seiten wird jede durch einen flachen Graben und gegenüber durch einen niedrigen Damm eingeschlossen, der aus dem Auswurfe der Gräben gebildet wird und sich an einen Weg anlehnt.

Die Fluth tritt in ihrer zweiten Hälfte mit grofser Heftigkeit ein, und wenn daher der Abzugsgraben auch zunächst sich mit Wasser füllt, so erfolgt gleich darauf der Uebersturz über alle niedrigen Querdämme. Sollten dabei Erdmassen abgerissen werden, so bleiben diese auf den nächsten Flächen liegen, und sind daher nicht verloren. Zur Zeit des Hochwassers sinken die schwersten darin enthaltenen Theilchen zu Boden, und namentlich in der Nähe

der Oberfläche klärt sich das Wasser am meisten. Dieses tritt beim Beginn der Ebbe wieder über die niedrigen Dämme. Sobald letztere trocken werden, befindet sich hinter ihnen das am meisten getrübte Wasser und dieses fliefst längs den Dämmen *b b* bis zu den Punkten *a*, wo es erst in den Abzugsgraben *B B* gelangt. Es mufs also einen weiten Umweg machen, woher seine Geschwindigkeit sehr mäfsig bleibt, und sonach der bereits erfolgte Niederschlag nicht in Bewegung gesetzt wird. Die Wirkungen dieser Anlagen sollen sehr grofs sein, doch ist gewifs die erste Ausführung so wie auch die dauernde Instandhaltung sehr kostbar. Um die Dimensionen einigermaafsen beurtheilen zu können, wird die Mittheilung genügen, dafs die einzelnen Flächen 36 bis 75 Quadrat-Ruthen enthalten.

Wenn das Watt in Folge der localen Verhältnisse oder durch die erwähnte Nachhülfe unterstützt, sich endlich soweit erhöht hat, dafs es bei halber Ebbe trocken wird, so stellt sich darauf die erste Vegetation von selbst ein. Jeder Versuch, den ferneren Anwuchs noch zu beschleunigen, ist alsdann nicht nur erfolglos, sondern sogar störend. Zwischen den strauchähnlichen Pflanzen, die sich zuerst zeigen, wird die Bewegung des Wassers in weit höherem Grade gemäfsigt, als man dieses durch künstliche Mittel thun könnte. Nunmehr bleibt also das Watt ganz sich selbst überlassen.

Die erste Pflanze, die sich auf dem schlammigen Boden zeigt, ist der Glasschmalz oder die Seekrappe (salicornia herbacea), ein blätterloses Gewächs, dessen sehr saftige vielfach verzweigte Aestchen aus kurzen Gliedern zusammengesetzt sind. Sehr wenig später zeigt sich auch das Salzkraut (Salsola Kali), das vergleichungsweise zu jenem ein sehr dürres Ansehn hat, und dessen kleine Blättchen stachelförmig zugespitzt sind. Diese beiden Pflanzen, die gruppenweise das noch niedrige Watt dicht überziehn, werden, wenn sie auch ganz ausgewachsen sind, schon bei gewöhnlichen Fluthen beinahe vollständig überdeckt. Auf den niedrigsten Stellen kommen sie deshalb auch nicht zur Blüthe, vielmehr geschieht dieses nur, wenn sie auf höheren Watten stehn, wo sie zum Theil über Wasser bleiben. Sie bilden an der Jade, sowie auch am Dollard ausgedehnte, dichte Gebüsche, nach deren Begrenzung man die Höhe der Watte sehr sicher beurtheilen kann. Im Oldenburgischen bezeichnet man beide Pflanzen-Arten, obwohl sie ganz verschieden sind, mit dem gemeinschaftlichen Namen, Quendel. Man findet

beide, doch nur vereinzelt, auch am Strande der Ostsee. Sie werden zur Soda-Fabrikation benutzt.

Ist das Watt so hoch angewachsen, dafs es nur noch 2 Fufs unter gewöhnlicher Fluth liegt, so findet sich eine andre Pflanze ein, die es gleichfalls dicht überzieht. Dieses ist eine Sternblume (aster tripolium). Sie hat solche Höhe, dafs sie selbst die gewöhnlichen Springfluthen überragt. Es gewährt einen eigenthümlichen Anblick, ihre theils gelben und theils rothen Blüthen zur Zeit des Hochwassers wenig über den Wellen in zahlloser Menge hin- und herschwanken und oft darauf schwimmen zu sehn.

Wenn endlich der Boden die Höhe der gewöhnlichen Fluthen nahe erreicht hat, er also zur Zeit der todten Fluthen einige Tage hindurch vom Wasser nicht bedeckt wird, so fängt er an, sich mit einer Grasnarbe zu überziehn, und zwar mit demselben Grase, das auch später den Aufsendeich bedeckt, und ein sehr nahrhaftes Viehfutter bildet. Dieses ist ein Rispengras (Poa maritima und Poa laxa). Sobald dieses Gras eine dichte Narbe bildet, nennt man das bisherige Watt, einen Groden.

Die benannten Pflanzen sind keineswegs die einzigen, die man hier vorfindet, doch die übrigen zeigen sich nur vereinzelt, während diese in ausgedehnten Gruppen neben einander wachsen, und vorzugsweise die Flora auf diesem jungen Boden bilden. Es sind aber vorstehend nur die unteren Grenzen ihres Vorkommens angegeben, weiter landwärts giebt es für sie keine Grenze. Salicornia und noch häufiger Salsola sieht man auch zwischen dem Rispengrase wachsen. Sämmtlich tragen sie aber zur Beruhigung und daher zur vollständigeren Klärung des Wassers wesentlich bei, und in gleichem Maafse schützen sie auch die Thontheilchen, die zwischen ihnen niedergeschlagen sind, und verhindern, dafs dieselben bei späteren Fluthen wieder vom Wasser gehoben werden. Das Anwachsen der Watte erfolgt aller künstlichen Mittel unerachtet bis zur halben Fluthhöhe viel langsamer, als sie später sich erhöhen, wenn die erste Vegetation sie überzogen hat.

Schliefslich mag hier noch erwähnt werden, dafs der Jade-Busen auf der westlichen Seite am stärksten anwächst, und dafs aus der Vergleichung der nach und nach ausgeführten neuen Eindeichungen das Ufer hier durchschnittlich in jedem Jahre um 40 Rhl. Fufs vortritt. Noch beträchtlicher sind die Verlandungen am Dollard,

woselbst der jährliche Anwachs sogar eine durchschnittliche Breite von 64 Rheinländischen Fufsen hat und zwar nicht nur vor den westlichen, sondern auch vor den südlichen Ufern.*)

§. 15.

Ausführung der Seedeiche.

Die Anordnung und Construction der Seedeiche stimmt in vielfacher Beziehung mit der der Flufsdeiche so genau überein, dafs ein näheres Eingehn in alle Einzelheiten entbehrlich erscheint. Es wird daher hier nur in soweit der Deichbau behandelt werden, als der Wellenschlag, die Fluth und Ebbe und die dadurch veranlafste verschiedene Richtung des Stromes besondere Berücksichtigung fordern.

Insofern bei Ueberfluthung eines Deiches nicht nur der dahinter belegene Polder der Inundation ausgesetzt, sondern auch der Deich selbst durch das darüber stürzende Wasser angegriffen, und leicht zerstört wird, so kommt es zunächst darauf an, die erforderliche Kronenhöhe des Deiches zu bestimmen. Dieses kann im Allgemeinen bei Seedeichen mit gröfserer Sicherheit als bei Stromdeichen geschehn, und namentlich wenn diese eine Niederung umschliefsen sollen, die bisher noch offen war. Der Grund dafür ist bereits oben angegeben: eine Beschränkung des Durchflufsprofiles, wodurch ein Aufstau veranlafst werden könnte, kommt hier nie vor, und eben so wenig kann in Folge von Eisversetzungen der Wasserstand sich zu ungewöhnlicher Höhe erheben. Es kommt nur darauf an, dafs man die Höhen der gewöhnlichen Fluthen, und die Anschwellungen kennt, welche Stürme veranlassen, und aufserdem auch die Höhe der Wellen vor den Ufern berücksichtigt.

Das gewöhnliche Hochwasser über dem mittleren Wasserstande der See, so wie auch das der Springfluthen mufs zunächst aus sorgfältigen und ausgedehnten Beobachtungen hergeleitet werden. An den Mündungen von Strömen und in Meerbusen geben sich, wie gleichfalls schon nachgewiesen, zuweilen manche locale Einflüsse auf den Fluthwechsel zu erkennen, doch pflegen dieselben nur in weiteren Entfernungen bedeutend zu sein, und es ist daher zulässig, in dieser Beziehung die Beobachtungen, die an anderen

*) In dem bereits angeführten Werke „de Dollard." Seite 156.

Punkten derselben Küste, wenn auch in Abständen von einigen Meilen gemacht sind, zum Grunde zu legen. Man kann demnächst aus den höchsten und niedrigsten Wasserständen, die während weniger Tage bei recht ruhiger Witterung gemessen sind, schon den mittleren Wasserstand der See an demjenigen Ufer mit hinreichender Schärfe feststellen, auf dem der beabsichtigte Deich ausgeführt werden soll. Nichts desto weniger pflegt man den Entwürfen zu neuen Eindeichungen, namentlich wenn sie sich nicht unmittelbar an schon bestehende Anlagen dieser Art anschliefsen, vollständige und gehörig ausgedehnte Beobachtungsreihen zum Grunde zu legen.

Sodann ist zu untersuchen, wie weit die höchsten Wasserstände sich über das gewöhnliche Hochwasser erheben. Hierbei ist der Einfluſs, den die Richtung der Küste und ihre Gestaltung ausübt, schon viel erheblicher, insofern diese Wasserstände nicht allein von der Höhe der Fluthen, sondern in grofsem Maafse auch von den Stürmen herrühren. In den Niederlanden pflegt man die Sturmfluthen vom 14. und 15. Januar 1808, vom 4. Februar 1825 und vom 24. Februar 1837 solchen Untersuchungen zum Grunde zu legen, wobei die Wasserstände des Meeres die gröfste bekannte Höhe erreichten. Letztere beträgt an den Niederländischen Küsten ohne Rücksicht auf den Wellenschlag 7½ bis 9 Fuſs über gewöhnlichem Hochwasser, und der Unterschied von 1½ Fuſs zwischen diesen beiden Angaben bezeichnet den Einfluſs der Lage der Küste gegen die Windrichtung. Die Fluth steigt am höchsten, wenn der Sturm von der Seeseite normal die Küste trifft, und im umgekehrten Falle am niedrigsten.

Endlich müssen die Deiche noch so weit erhöht werden, daſs die Wellen nicht hinüberschlagen. Hierbei ist wieder die Richtung der Küste von grofsem Einflusse, so wie auch andre Umstände den Wellenschlag verstärken, oder mäfsigen. Ist die Küste ostwärts gekehrt, oder wird sie von den westlichen Stürmen, die immer am heftigsten sind, nicht getroffen, so genügt es, die Deiche 2 bis 2½ Fuſs über die bekannte höchste Fluth zu legen. Auf den westlichen Küsten ist die Höhe der Wellen dagegen ohne Vergleich viel gröfser; in der Provinz Seeland hat man beobachtet, daſs sie sich bis 8 Fuſs über den gleichzeitigen mittleren Stand des Meeres erheben. Der Wellenschlag ist aber von der Ausdehnung und Höhenlage des Vorlandes abhängig. Wo dieses schmal und niedrig ist, oder vollständig fehlt, treffen die Wellen mit voller Kraft und

in ihrer ganzen Höhe den Deich, derselbe kann dagegen merklich niedriger gehalten werden, wenn ein weites Vorland ihn schützt.

Nach diesen Ermittelungen pflegt man die Höhe eines Deiches so zu bestimmen, dafs die Krone mit dem Kamme der Wellen zur Zeit der stärksten und höchsten Sturmfluthen in gleichem Horizonte liegt. Eine noch weitere Erhöhung würde sich nicht rechtfertigen, da die Kosten der Anlage schon unter dieser Voraussetzung sehr bedeutend zu sein pflegen, und nahe wie die Quadrate der Höhen wachsen. Die Krone bleibt aber, wenn sie dieser Bedingung entspricht, keineswegs trocken, denn nicht nur spritzt das Wasser darauf, sondern einzelne Wellen laufen auch über sie fort, und ergiefsen sich in das Binnenland. Nichts desto weniger ist alsdann doch einer eigentlichen Ueberströmung vorgebeugt und der Deich in dieser Beziehung vor Beschädigungen genügend gesichert.

Einige Angaben über die Höhe der Seedeiche werden nicht ohne Interesse sein, doch mufs bemerkt werden, dafs diese Höhe selten auf gröfsere Länge dieselbe bleibt, vielmehr immer verändert werden mufs, so oft die Richtung des Deiches sich ändert, oder die Beschaffenheit des Vorlandes wechselt, oder vielleicht auch einzelne Stellen vorzugsweise gesichert werden sollen. So liegt der Deich bei Vliessingen 16 Fufs über gewöhnlichem Hochwasser, während er weiter ostwärts bei Rammekens, in der Entfernung einer starken halben Meile schon $6\frac{1}{2}$ Fufs niedriger ist. Der Westcappelsche Deich, der auf der Westseite die Fortsetzung desselben Deiches bildet, liegt an den am meisten ausgesetzten Stellen 15 Fufs über dem gewöhnlichen Hochwasser. Der Schaardeich auf der Insel Schouwen, westwärts von Brouwershaven liegt auf $20\frac{1}{2}$ Fufs, und dieses ist die gröfste Höhe, die in den Niederlanden vorkommt. Der oben beschriebene Deich vor dem Helder wechselt zwischen 12 und 15 Fufs über gewöhnlichem Hochwasser, durchschnittlich liegen aber die Deiche an der Niederländischen Küste auf etwa $11\frac{1}{2}$ Fufs.

Die Krone der Seedeiche kann nicht füglich als Fahrweg benutzt werden, weil zur Zeit eines Sturmes die Passage darauf zu unbequem und wegen der aufschlagenden Wellen, vor denen die Pferde zu scheuen pflegen, auch zu gefährlich sein würde. Aus diesem Grunde bedarf die Krone nicht einer so grofsen Breite, als auf Flufsdeichen, und man hält, wenn das Profil im Uebrigen normalmäfsig ist, eine Breite von 10 Fufs für genügend. Nichts desto

weniger mufs besonders bei höheren Deichen dafür gesorgt werden, dafs das Material, welches zu ihrer Instandsetzung erforderlich ist, bis nahe zur Höhe der Krone angefahren werden kann, und der Weg, mit dem sie zu diesem Zwecke versehn sind, liegt auf einem hohen Banket an der Binnenseite der Krone. Aus diesem Grunde kann man, wie vielfach geschieht, dieses Banket als die eigentliche Krone des Deiches, und jene Erhöhung, die als Krone bezeichnet wird, nur als eine Kade betrachten. Jedenfalls mufs die Krone, besonders wenn sie eine bedeutende Breite hat, mit starkem Quergefälle versehn werden, damit das aufschlagende Wasser leicht abfliefsen kann, und hieraus ergiebt sich wieder die eigenthümliche Anordnung, dafs eine breite und horizontale Krone gar nicht existirt, vielmehr die obere Fläche nach der Seeseite sehr stark und gleichmäfsig ansteigt, und der Rand derselben, der sie gegen die äufsere flache Dossirung begrenzt, der einzige Theil des Deiches ist, der die erforderliche Höhe hat, und das Ueberschlagen der Wellen verhindert. Bei den Deichen der Niederländischen Küste, die freilich grofsentheils wegen der steilen äufsern Dossirungen sehr starken Beschädigungen ausgesetzt sind, pflegen die Kronen oder die fast eben so hohen Bankete 18 bis 24 Fufs breit, und oft Haupt-Verbindungswege zu sein. Sie werden entweder als Klinkerstrafsen behandelt (Fig. 31), oder mit kleinen Seemuscheln beschüttet, die eine sehr ebene, harte und für das leichte Fuhrwerk auch hinreichend feste Strafse bilden. Auf die Unterhaltung derselben wird grofse Aufmerksamkeit verwendet, woher jedes Geleise sogleich ausgefüllt, und wenn die Erhöhung des Deiches nöthig werden sollte, die ganze Decke sorgfältig entfernt wird.

Diese bedeutende Breite gewährt nicht nur bei vorkommenden Beschädigungen eine grofse Erleichterung in der Anfuhr des Materials, sondern die Einbrüche der Dossirung auf der äufsern Seite sind weniger bedenklich, und endlich kann man, wenn etwa schleunig eine Aufkadung vorgenommen werden mufs, das dazu nöthige Material auch von der Krone des Deiches selbst entnehmen.

Für die äufsern und innern Dossirungen der Seedeiche gelten dieselben Regeln, wie bei den Stromdeichen, vorausgesetzt, dafs sie aus guter Erde bestehn und durch ein hinreichend breites und hohes Vorland geschützt werden, auch nicht etwa besondere Umstände eine Abweichung hiervon begründen. Beraste Böschun-

gen von dreifacher Anlage auf der äufsern, und $1\frac{1}{2}$ facher auf der innern Seite sind in solchen Fällen vollkommen genügend. Der Deich widersteht alsdann selbst dem heftigsten Wellenschlage, ohne eines sonstigen Schutzes zu bedürfen. In solchen günstigen Verhältnissen findet man viele Deiche im Oldenburgischen, sowie auch in Ostfriesland und weiter westwärts bis zum Laauwer See. Grofsentheils sind dieses indessen Deiche, die in neuerer Zeit auf stark anwachsendem Boden aufgeführt sind, die also, wenn sie auch zuweilen einem harten Angriffe ausgesetzt, dennoch vergleichungsweise gegen andre, keineswegs besonders bedroht werden. Für Deiche, die dem vollen Wellenschlage der See ausgesetzt sind, und namentlich wenn das Vorland ganz oder theilweise ihnen fehlt, auch wohl gar Seesand statt der zähen Klaierde zu ihrer Aufschüttung benutzt werden mufste, sind jene Böschungen dagegen nicht genügend, und man mufs zu andern viel kräftigeren und kostbareren Schutzmitteln greifen, um wiederholten gefahrdrohenden Beschädigungen und Durchbrüchen vorzubeugen. Von diesen Mitteln wird im Folgenden die Rede sein, hier wäre nur zu erwähnen, dafs es nothwendig ist, die äufsern Böschungen um so flacher zu halten, je weniger Zusammenhang die Erde hat.

Caland nimmt drei Classen der Seedeiche an. Zu der ersten rechnet er diejenigen, die unmittelbar gegen die Nordsee gerichtet und den heftigsten Stürmen ausgesetzt sind, auch kein Vorland vor sich haben, wie der Westkappelsche und der Westwaterings-Deich (westlich von Vliessingen) auf der Insel Walcheren, oder der bereits erwähnte Scharren-Deich auf der Insel Schouwen. Deiche dieser Art sollen mit Rücksicht auf den Umstand, dafs sie grofsentheils aus Sand bestehn, durchschnittlich zehnfache Anlage in der äufsern Böschung haben. Er empfiehlt jedoch, dieselbe nicht gleichmäfsig in der ganzen Höhe darzustellen, sondern in der Art, wie Woltman bereits viel früher vorgeschlagen hatte, den untern Theil bedeutend steiler, als den obern zu halten, also die Dossirung vom Fufse nach der Krone nach und nach flacher werden zu lassen. Diese Anordnung rechtfertigt sich in sofern, als der Wellenschlag um so heftiger und zerstörender wird, als der Wasserstand höher ist. Der Fufs soll daher nur mit sechsfacher Anlage steigen, aber diese bald in eine etwas flachere übergehn, und Aenderungen im gleichen Sinne sich so vielfach wiederholen, dafs die ganze Böschung durchschnittlich zehnfache Anlage erhält. Dabei ist noch darauf

Rücksicht zu nehmen, dafs die beste Erde sorgfältig zur Bekleidung der Dossirungen benutzt wird, um hier die Bildung eines festen Rasens noch möglich zu machen. Die Grasnarbe kann aber unter allen Umständen nur bis gegen das gewöhnliche Hochwasser herabgeführt werden; setzt sich daher die Dossirung des Deiches noch tiefer fort, so mufs dieser Theil schon als Seeufer behandelt und in andrer Weise gedeckt werden.

Aehnliche Rücksichten werden auch für die zweite Classe der Deiche empfohlen, nämlich für solche, die entweder an mehr geschützten Stellen, oder an den Mündungen der Seegatte und Ströme liegen. Sie sollen äufsere Böschungen erhalten, die durchschnittlich fünffache Anlagen haben. Für diejenigen Deiche endlich, welche besonders günstig liegen und keinem starken Angriffe ausgesetzt sind, genügt in der äufsern Böschung die dreifache und zum Theil sogar die zwei und einhalbfache Anlage.

Was die Binnendossirung betrifft, so begnügt man sich in vielen Fällen schon mit einfacher Anlage, doch ist diese selbst bei sehr gutem Boden nur wenig haltbar. Wenn die Erde mit Sand versetzt ist, so ist mindestens die ein und einhalbfache Anlage zu wählen, und bei reinem Sande mindestens die zweifache, weil ganz abgesehn von äufsern Beschädigungen schon der Regen in steileren Böschungen Einrisse verursacht. Aufserdem mufs man immer darauf Rücksicht nehmen, dafs nur die Grasnarbe diesem Theile des Deiches Schutz bietet, dafs aber eine solche auf den steilen Flächen sich nicht regelmäfsig ausbildet. Selbst bei ein und einhalbfacher Anlage überzieht der Rasen noch nicht in ebener und ununterbrochener Fläche die Dossirung, oder wenn dieses auch Anfangs geschehn ist, so zeigen sich darin doch sehr bald einzelne Vertiefungen, und die Instandhaltung ist um so kostbarer, als man bei günstiger Witterung den Deich gewöhnlich beweiden läfst.

Bei Seedeichen verbietet sich aufserdem die Anwendung sehr steiler Binnendossirungen dadurch, dafs einzelne Wellen herüberschlagen, und die grofsen Wassermassen derselben nicht abfliefsen können, ohne Einrisse zu veranlassen. Deshalb dürfte die zweifache Anlage vorzugsweise zu empfehlen sein. Diese genügt aber nicht entfernt, wenn der Deich zuweilen überströmt wird. Solche Deiche kommen, wie bereits erwähnt, hin und wieder in den Niederlanden vor. Der Rheinländische Slaperdeich zwischen Amsterdam und

Haarlem, der während anderthalb Jahrhunderten bei allen ungewöhnlich hohen Wasserständen und oft sehr stark überströmt wurde, leistete immer genügenden Widerstand und bedurfte keiner kostbaren Instandsetzungen, seitdem die Binnendossirung eine eilf- bis zwölffache Anlage erhalten hatte. Dieselbe flache Böschung hat man auch in den Jahren 1825 und 1826 den Ueberlafsdeichen am Süder-See in der Provinz Over-Jjssel gegeben und diese haben zum Theil im ersten Winter schon starke Ueberströmungen ohne alle Beschädigung ausgehalten, einer derselben in der Nähe von Kampen wurde aber im obern Theile fortgespült, ohne dafs eine tiefe Rinne, oder ein Kolk, wie bei sonstigen Durchbrüchen, sich bildete.

Die sorgfältige Wahl des Materials und die gute Ausführung trägt wesentlich zur Erhaltung des Deiches bei. Es gelten in dieser Beziehung für Seedeiche ungefähr dieselben Regeln, wie für Stromdeiche, doch kommen wegen der localen Verhältnisse bei den ersteren manche Rücksichten in Betracht, die bei den letztern unbeachtet bleiben dürfen. Wo ein junger, gehörig angewachsener Groden eingedeicht werden soll, findet man jedesmal in unmittelbarer Nähe den Marschboden, der sich zu Deichschüttungen vorzugsweise eignet, er besteht aus sehr zäher Thonerde. Derselbe findet sich auch vorzugsweise in allen Marschen, da man ihn aber bei gröfseren Reparaturen und selbst bei gewöhnlicher Unterhaltung der Deiche aus dem Binnenlande nicht entnehmen kann, so wird man auf das Material angewiesen, welches der Aufsendeich liefert, oder das man sonst mit den mindesten Kosten beschaffen kann. Dieses ist der Grund, dafs man zuweilen und sogar bei den wichtigsten Deichen gezwungen ist, Erdarten zu verwenden, die weit weniger brauchbar sind. Demnächst ist die mit Sand und vegetabilischen Stoffen versetzte Acker- oder Gartenerde noch sehr brauchbar, obwohl sie dem Angriffe der Wellen weniger widersteht, als der reine Thon. Ihre Theilchen sind in sich nicht so fest verbunden, dafür lagern sie sich aber bei der Schüttung noch dichter, und es tritt dabei nicht die Gefahr ein, dafs beim Zusammentrocknen sich Spalten und Risse im Innern bilden, was bei der Klaierde zuweilen geschieht, wodurch starke Quellungen veranlafst werden.

Sehr sandiger Boden und selbst reiner Sand mufs zuweilen zu Deichen verwendet werden, wenn kein anderes Material beschafft werden kann. Die ganze Masse hat dabei gar keinen Zusammen-

hang, und sobald sie vom Wellenschlage angegriffen wird, so pflegen die Zerstörungen übermäfsig grofs zu sein. Dazu kommt noch der Uebelstand, dafs das Wasser stark durchsickert und sonach bedeutende Quellungen eintreten. Nichts desto weniger findet beim Sande doch der günstige Umstand statt, dafs er ein grofses specifisches Gewicht hat, und die ganze Masse sich daher weder hebt, noch auch leicht fortgeschoben werden kann. Wenn man, wie in der unmittelbaren Nähe der See, zuweilen gezwungen ist, den Deich aus reinem Sande aufzuführen, so müssen wenigstens seine Dossirungen, und vorzugsweise die äufsere Böschung mit einer starken Lage Thonerde sorgfältig überdeckt werden, um eines Theils den Sand vor dem Wellenschlage zu sichern, sodann aber auch um hier eine kräftige Grasnarbe zu bilden, die auf dem reinen Sande weder dargestellt, noch auch erhalten werden kann. In den Niederlanden giebt es Deiche dieser Art, die sich sehr gut halten, aber auf der äufsern Fläche 3 Fufs hoch mit Klaierde überdeckt sind.

Moorerde und vollends Torf dürfen beim Deichbau nie verwendet werden, weil bei diesen nicht nur alle Uebelstände wie beim Sande eintreten, sondern sie aufserdem auch so leicht sind, dafs sie nahe ihr ganzes Gewicht im Wasser verlieren, und zuweilen sogar darauf schwimmen. Dazu kommt noch, dafs sie beim Trocknen sehr stark schwinden, und alsdann Risse in dem Deiche entstehn, die bei hohen Fluthen grofse Wassermassen hindurchlassen. Wenn diese Risse sich gewöhnlich nach einiger Zeit auch wieder schliefsen, so kann es doch geschehn, dafs die Quellungen schon vorher so viel Material ausgespült haben, dafs der Deich dadurch in die gröfste Gefahr kommt. Der Torf findet freilich hin und wieder beim Deichbau eine eigenthümliche Anwendung, indem man daraus eine Art von Mauer bildet, wogegen der Deich sich lehnt, doch ist dieser Schutz im höchsten Grade unsicher und zugleich kostbar, indem man ihn in jedem Jahre erneuen mufs. In dieser Weise wurde der überaus steile Deich vor der Kirche Moorlose an der Weser in jedem Winter gesichert, bis er durch die Stromcorrectionen ein hinreichend breites Vorland gewann, und gehörig profilirt werden konnte.

Bei Ausführung der Deiche ist vorzugsweise dahin zu sehn, dafs alle Theile der Schüttung, sowol unter sich, als auch mit dem Untergrunde in innige Verbindung gebracht werden. Zu diesem

Zwecke wird der Boden von dem Rasen entblöfst, auch beseitigt man bis zu gröfserer Tiefe die Wurzeln der Bäume, Sträucher und andern Gewächse, und lockert die Erde nicht nur in der Oberfläche mit der Hacke auf, sondern gräbt sie um, oder pflügt sie auf, und besonders geschieht dieses, wenn sie recht fest und hart ist. Die Erde, die zur Schüttung benutzt wird, mufs gleichfalls ganz rein von fremden Stoffen sein, weil neben solchen leicht Wasseradern sich bilden. Man bringt sie in dünnen Lagen auf, die nicht leicht stärker, als etwa 12 Zoll sind, und jede Lage mufs, bevor die folgende darüber geschüttet wird, möglichst comprimirt und mit der darunter befindlichen verbunden werden. Dieses geschieht entweder schon beim Aufbringen der einzelnen Lagen, indem man sich dabei kleiner Wagen oder Karren bedient, die mit Pferden oder Ochsen bespannt sind. Sowol unter den Hufen der Zugthiere, als unter den Rädern erfolgt alsdann die Compression der bereits aufgeschütteten Lage. Damit jedoch diese Befestigung sich über die letztere vollständig ausdehnt, so dürfen die Karren nicht immer in demselben Geleise bleiben, wobei allerdings der Zug etwas vermindert wird, vielmehr müssen die Pferde bald hier und bald dort geführt werden, um die ganze frisch angeschüttete Schicht zu treffen und durchzuarbeiten. Es ist auch nothwendig, die entstandenen tieferen Geleise immer sogleich wieder auszuebnen. Durch Holzbahnen darf die Anfuhr nicht erleichtert werden, weil gerade das Einsinken der Pferde und Wagen zur Befestigung der Schüttung dient. Wenn dagegen die Erde durch Menschen in Karren angeschoben wird, was jedoch nicht leicht geschieht, so ist man gezwungen, Laufdielen zu benutzen, weil sonst die Arbeit gar zu schwierig sein würde. In diesem Falle mufs noch besonders für die Compression und dichte Ablagerung der einzelnen Erdschichten gesorgt werden, und dieses geschieht durch Abrammen.

Wie vorsichtig man indessen auch die Erde aufgebracht und für ihre dichte Ablagerung gesorgt hat, so tritt dennoch in dem fertigen Deiche jedesmal eine starke Senkung ein, und zwar ist diese um so gröfser, je fetter der Thon ist, den man verwendet. Auch hat die Menge des darin enthaltenen Wassers einen wesentlichen Einflufs auf das Sacken des Deiches, und Letzteres wird um so stärker, je feuchter der Thon war. Hierdurch begründet sich die Regel, dafs man, soviel es geschehn kann, mit der Aufführung

von Deichen, besonders wenn ein starkes Sacken besorgt werden muſs, nur langsam vorgehn darf, und jede neue Lage so lange frei liegen bleiben muſs, bis sie ziemlich trocken geworden ist. Woltman meint, daſs Deiche aus Klaierde, die mit Benutzung von Pferden aufgeführt werden, nur den zwanzigsten Theil ihrer Höhe verlieren, dagegen solche, die mit Handkarren geschüttet sind, den zehnten und sogar den achten Theil. Nach den in Holland gemachten Erfahrungen ist die Senkung indessen viel bedeutender und selbst im ersten Falle dem zehnten Theile der Höhe gleich, sie erreicht aber nicht selten sogar den siebenten Theil.

Dieses starke Sacken ist indessen, wie schon oben erwähnt, nicht allein die Folge von der dichteren Ablagerung der Erdtheilchen, aus denen der Deich selbst besteht, sondern auch der Untergrund sinkt unter der starken Belastung jedesmal und oft sehr bedeutend herab. Besonders findet dieses bei frisch aufgewachsenen Groden statt, und dabei zeigt sich noch die eigenthümliche Erscheinung, daſs nicht die ganze Fläche, welche den Deich trägt, gleichmäſsig sinkt, sondern am stärksten der mittlere Theil derselben, auf welchem die Krone ruht, wogegen die unteren Theile der Dossirungen beinahe gar nicht den Untergrund herabdrücken. Bestimmte Regeln lassen sich hiernach nicht aufstellen, aber man muſs in jedem Falle aus der Beschaffenheit des Untergrundes, so wie aus der Natur und der Feuchtigkeit der Erde, die man zur Schüttung des Deiches verwendet, das zu erwartende Sinken ungefähr zu schätzen sich bemühn, und hiernach die nöthige Ueberhöhung des Deiches beim Abstecken der Profile einführen. Gemeinhin pflegt man sich indessen hierbei zu irren, und eine geringere Ueberhöhung anzunehmen, als sich später bei dem Sinken des Deiches als nöthig herausstellt. Die spätere Erhöhung ist indessen sehr schwierig, indem alsdann der Rasen von Neuem entfernt werden muſs, wenn man sich nicht etwa damit begnügt, daſs man nur den obern Theil erhöht, also gerade da, wo der Angriff durch den Wellenschlag am stärksten ist, eine steilere Böschung bildet.

Ueber die Neigung der einzelnen Erdlagen sind sehr verschiedenartige Ansichten ausgesprochen. Man geht dabei gewöhnlich von der Voraussetzung aus, daſs jede Lage in sich fester und inniger verbunden ist, als mit der darüber und darunter befindlichen, also jede Fuge zwischen zwei Lagen sich möglicher Weise in eine

Wasserader verwandeln kann. Diese Annahme dürfte, wenn die Schüttung vorsichtig und aus gleichmäfsigem Material bewirkt ist, kaum als begründet anzusehn sein. Aufserdem ist auch zuweilen die Ansicht ausgesprochen, man solle die Lagen etwas geneigt aufführen, damit das in der frischen Erde enthaltene Wasser um so leichter abfliefsen kann. In diesem Falle würde der Zweck der geneigten Lagen sich allein auf das erste Austrocknen der noch losen Erde beziehn und auf die spätere Dichtigkeit des Deiches keinen Einfluſs haben.

Wenn man die Bedeutsamkeit der einen und der andern Rücksicht nicht ganz in Abrede stellen, und sonach horizontale Lagen nicht wählen mag, so dürfte es wohl am angemessensten sein, mit der Schüttung des mittleren Theiles des Deiches den Anfang zu machen, und sämmtliche Lagen flach gewölbt aufzuschütten, ihnen also sowol nach aufsen, wie nach innen einige Neigung zu geben. Man erreicht dadurch noch den Vortheil, dafs derjenige Theil des Untergrundes, der später die stärkste Belastung tragen mufs, gleich anfangs schon dem gröfsten Drucke ausgesetzt wird, also schon vor Beendigung der Schüttung auszuweichen Gelegenheit hat. Storm Buising empfiehlt dagegen, die sämmtlichen Lagen in ihrer ganzen Ausdehnung seewärts zu neigen, und zwar so, dafs jede Fuge eine Ebene bildet, welche den Fufs der äufsern Dossirung trifft. Schon in der Ausführung dürfte diese Anordnung nicht leicht mit einiger Regelmäfsigkeit durchzuführen sein, weil jede Lage alsdann ein dreiseitiges Prisma wird, das auswärts in eine scharfe Schneide ausläuft. Aufser dem Vortheile, dafs alle Fugen von aufsen nach innen ansteigen, also die Adern, die sich darin bilden, aufwärts gerichtet sind, wird hierbei noch der günstige Erfolg gerühmt, dafs das Regenwasser, welches auf den Deich fällt, den Abfluſs nach der äufsern Seite findet. Wenn man aber nach der obigen Voraussetzung annehmen darf, dafs jede Fuge auch eine schwache Stelle bildet, in welcher die Trennung erfolgen kann, so mufs man zugleich besorgen, dafs die äufsersten Prismen, oder die letzten Lagen, die auf den am stärksten geneigten Fugen ruhen, sich auch am leichtesten lösen und ganz oder theilweise herabgleiten können. Hiernach dürfte diese Anordnung, wenn auch jene erste Voraussetzung richtig wäre, sich nicht empfehlen und keinen Vorzug vor der zuerst bezeichneten Schichtung haben, wobei wenigstens der

obere Theil der äufsern Lage durch die horizontale Fuge begrenzt wird.

Wenn man bei Schüttung eines Deiches sehr nassen, jedoch zähen Thon verwendet hat, und demselben vielleicht wegen ungünstiger Witterung auch nicht Gelegenheit zum Austrocknen in den einzelnen Lagen geben konnte, so zieht er sich später merklich zusammen, oder schwindet. Dabei entstehn Risse im Deiche, die nicht nur das Durchquellen aufserordentlich befördern, sondern auch den ganzen Deich gefährden und seinen Bruch veranlassen können. Man mufs daher sowol vor dem Aufbringen der Rasen, als auch später sehr aufmerksam den Deich untersuchen, und wo solche Spalten oder Risse sich bemerklich machen, die oft bei geringer Weite grofse Tiefe haben, mufs man sich bemühn, sie recht dicht zu füllen. Storm Buising empfiehlt, hierzu recht fetten, feinen und trocknen Thon zu verwenden, den man hineinschütten und mit flachen Instrumenten recht fest anstampfen soll. Wenn diese erste Dichtung auch nicht vollständig den Zweck erfüllt, und der Rifs nach einiger Zeit sich wieder öffnet, so soll es doch gelingen, diesen endlich nachhaltig und dicht zu schliefsen, wenn man ihn wiederholentlich in gleicher Weise behandelt.

Fast jedesmal trifft man in der Deichlinie einzelne tiefe Stellen an. Gewöhnlich sind dieses die Rillen, durch welche das Fluthwasser ein- und die Ebbe abgeflossen ist, die aber beim höheren Anwachsen des Bodens, und so lange derselbe nicht gegen den Zutritt der Fluthen abgeschlossen war, noch in Wirksamkeit blieben, und sich daher weder mit dem Niederschlage füllen, noch auch, da sie keine Compression erlitten, die Festigkeit des andern Bodens annehmen konnten. Die lockere Beschaffenheit des Grundes in ihnen wird durch die Vegetation der Sumpfpflanzen meist noch vermehrt, und die Wurzeln des Schilfes und Rohres bilden eine weiche Masse, die bei der Schüttung des Deiches nicht nur übermäfsig zusammensinkt, sondern auch wegen des Mangels an aller innern Verbindung ein starkes Durchquellen veranlafst. Oft findet man hier schon in mäfsiger Tiefe einen festen und reinen Untergrund. In diesem Falle mufs man die vegetabilischen Stoffe und den dazwischen abgelagerten Schlamm durch Graben und Baggern sorgfältig entfernen, bis man den tragfähigen Untergrund erreicht, und auf diesem die Schüttung des Deiches mit recht trocknem Thone

beginnen, der bei der Berührung des Wassers nicht so leicht in Schlamm verwandelt wird. Es dürfte auch nöthig sein, diese Arbeit möglichst zu beschleunigen, um recht bald die angeschüttete Erde durch Abrammen in eine compacte Masse verwandeln zu können. Nichts desto weniger pflegen solche Stellen sich doch jedesmal ungewöhnlich stark zu setzen, und müssen daher mehr, als andre überhöht werden.

Wenn dagegen der Untergrund bis zu grofser Tiefe aus Moor oder Schlamm besteht, so dafs dessen Beseitigung zu kostbar oder ganz unmöglich wird, so mufs man andre Mittel ergreifen, die zum Theil mit den sonst gültigen Grundsätzen des Deichbaues im Widerspruche stehn. In seltenen Fällen, und besonders wenn der Deich sich nicht hoch erhebt, auch die obern Schichten der sumpfigen Stelle noch ziemlich fest sind, soll es gelungen sein, das starke Sinken dadurch zu vermeiden, dafs man die Böschungen sehr flach gehalten hat. Hierdurch wird freilich das ganze Gewicht des Deiches vergröfsert, aber noch mehr verbreitet sich die Basis, so dafs der Druck, den jede Stelle des Untergrundes erfährt, etwas geringer wird. Dabei mufs jedoch vorausgesetzt werden, dafs der Deich in sich einen steifen Körper bildet, von dem der mittlere Theil oder die Krone nicht tiefer herabsinken kann, als die beiden Seitenprismen, welche die Böschungen bilden, was doch kaum zu etwarten ist. Man hat bei der Wahl dieser Anordnung aber noch eine andre Absicht. Wenn nämlich in dem Schlamme eine schwere und grofse Masse versinkt, so erhebt sich der verdrängte Boden wellenförmig auf beiden Seiten, und dieses kann um so leichter geschehn, je kürzer der Weg ist, den er dabei zurücklegen mufs, oder je weniger Breite die aufgeschüttete Belastung hat. Es wird also durch die sehr flachen Dossirungen dieses Aufquellen ganz oder theilweise verhindert, und auf solche Art können recht breite Deiche das Setzen etwas mäfsigen. Man hat jedoch in vielen Fällen unter denselben Verhältnissen auch das entgegengesetzte Verfahren angewendet, und dem Deiche sowol eine recht schmale Krone, als auch recht steile Dossirungen gegeben, um sein Gewicht möglichst zu vermindern.

Wenn der Untergrund von der angegebenen Beschaffenheit ist, und gerade seine Oberfläche, wie oft vorkommt, noch die meiste Consistenz besitzt, so pflegt man bei der Schüttung des Deiches

dieselbe gar nicht anzugreifen. Man reinigt also wohl den Rasen von den darauf liegenden oder den hindurch gewachsenen sonstigen Pflanzen, indem man Schilf und Rohr u. d. gl. recht kurz abmäht, aber den Rasen oder die sonstige benarbte Oberfläche sticht man gar nicht ab, sondern bringt auf dieselbe die Erde auf. Um die Quellungen in dieser Fuge einigermaafsen zu verhindern, pflegt man nur am Fufse der äufsern Dossirung einen Graben zu ziehn, der mit guter Klaierde gefüllt und fest ausgestampft wird. Diese Erdmasse stellt die Verbindung zwischen der Dossirung und dem Untergrunde dar, und erschwert sonach das Eindringen des Wassers bei hohen Fluthen.

In manchen Fällen, und namentlich in der Provinz Seeland hat man auch das Gewicht der Deiche dadurch wesentlich vermindert, dafs man sie zum Theil aus Faschinen aufgeführt hat. Eine oder mehrere Lagen Packwerk, deren Stärke gemeinhin dem vierten Theile der ganzen Höhe des Deiches gleich ist, werden zunächst auf den Rasen gelegt, und sodann mit Erde überschüttet. Letztere bildet nicht nur den obern Theil des Deiches, sondern auch die beiderseitigen Böschungen, und dieselben werden in der bereits beschriebenen Art wieder mit dem Untergrunde in Verbindung gesetzt. Dieses Verfahren ist wegen der grofsen Masse Faschinen, die dabei gebraucht werden, überaus kostbar; aufserdem bietet ein solcher Deich, besonders wenn er schon mehrere Jahre alt ist, und die Faschinen verrottet sind, nicht entfernt die Sicherheit eines gewöhnlichen Erddammes, und endlich sind dabei die Quellungen auch sehr bedeutend.

Ueber die Bekleidung der Seedeiche mit Rasen ist nichts besonderes zu bemerken, nur verdient erwähnt zu werden, dafs man in den Niederlanden ganz allgemein die gut benarbten Deiche bei trockner Witterung beweiden läfst, jedoch vorzugsweise nur durch Hornvieh. Auch ist es Regel, selbst dieses erst im dritten Jahre, oder wenn der Rasen schon fest angewachsen ist, die Dossirungen betreten zu lassen. Mit Anfang des Monats October hört aber die Weide auf.

Was die Wahl der Deichlinie bei neuen Eindeichungen betrifft, so gelten hier zum Theil dieselben Regeln, wie bei Stromdeichen. Man mufs mit der kürzesten Linie die gröfste Fläche zu umschliefsen sich bemühen, dabei mufs aber der Deich möglichst

auf hohen und festen Boden gelegt werden. In wie weit die letzte Rücksicht eine Abweichung von der ersten fordert, bleibt jedesmal der nähern Untersuchung vorbehalten, doch dürfen scharfe Ecken, und namentlich vorspringende, niemals vorkommen, weil diese einem zu heftigen Angriffe durch die Wellen ausgesetzt sein würden. Der Wellenschlag mufs aber besonders hierbei berücksichtigt und daher, wenn es irgend vermieden werden kann, der Deich nicht so gelegt werden, dafs er von den heftigsten Stürmen normal getroffen wird. Dieses wird zuweilen nicht zu umgehn sein, aber in solchem Falle mufs man bemüht sein, ihm durch einen recht breiten und hohen Aufsendeich hinreichenden Schutz zu geben. Die nothwendige Breite dieses Aufsendeiches, worüber bereits das Nöthige mitgetheilt wurde, ist maafsgebend bei Beantwortung der Frage, wie weit man die Eindeichung überhaupt herausrücken kann.

Schliefslich ist noch auf einen sehr wichtigen Punkt bei Erbauung von Seedeichen aufmerksam zu machen. Dieselben werden in der Regel auf einem Terrain ausgeführt, das etwas über dem mittleren Hochwasser und unter dem der Springfluthen liegt. In der kurzen Zwischenzeit von einer Springfluth bis zur nächsten kann man die Deichanlage nicht vollenden, gemeinhin ist dieses sogar in einem Sommer nicht möglich. Um nun zu verhindern, dafs nicht die nächsten Springfluthen schon bis an die so eben aufgeschüttete Erdmasse treten, die sie unfehlbar zum Theil abwaschen und an deren Enden sie bedeutende Ausrisse bilden würden, indem sie die noch nicht ganz abgeschlossene Fläche dahinter füllen und daraus später wieder zurückfliefsen, so bleibt nur übrig, die ganze Baustelle ohnerachtet ihrer sehr grofsen Ausdehnung mit einer Art von Fangedamm oder einem niedrigen Kade-Deich zu umschliefsen. Derselbe erhebt sich meist nur etwa 2 Fufs über gewöhnliche Springfluthen. An der Deutschen und Niederländischen Nordsee-Küste bleibt er daher auf einem hohen Watte noch ziemlich niedrig, und man braucht ihn auch nicht mit besonders flachen Böschungen zu versehn und mit Rasen zu bekleiden. Er soll nur während der Sommer-Monate, wo keine heftigen Stürme zu erwarten sind, nothdürftigen Schutz gewähren, und wenn er zu durchbrechen droht, so kann er an den gefährdeten Stellen durch Strauch oder auf andre Weise gesichert werden. Im Schutze dieses Dammes wird alsdann der neue Deich ausgeführt, und wenn derselbe so lang ist, dafs man

ihn in einem Sommer nicht fertig stellen kann, so ist es am vortheilhaftesten, ihn in zwei Theile zu trennen, von denen der zweite erst im nächsten Jahre in Angriff genommen wird. Der Kahdedeich mufs alsdann eben so wie die erste Hälfte des Hauptdeiches an den dahinter liegenden alten Deich angeschlossen werden. Diese beiden Anschlüsse lassen sich aber auch vereinigen, indem dieser Theil des Kadedeiches im Spätherbste so erhöht und verstärkt wird, dafs er auch die Winterfluthen von der neu eingedeichten Fläche abhält. Man giebt ihm aber solche Lage, dafs er den Stürmen möglichst wenig ausgesetzt ist, und er sonach ziemlich schwach profilirt werden darf. Wenn demnächst im folgenden Sommer die zweite Hälfte des Deiches im Schutze einer zweiten Kade erbaut ist, wird dieser Anschlufsdeich beseitigt.

Die zum Deiche erforderliche Erde wird jedesmal aus dem Vorlande oder dem Aufsendeiche entnommen, und damit die Erdgruben nicht etwa in tiefe Wasserläufe sich verwandeln, in denen eine starke Strömung sich darstellt, so dürfen sie nicht im Zusammenhange stehn, vielmehr läfst man breite Erdstreifen zwischen ihnen ganz unberührt. Ihre Ausfüllung mit neuem Schlick pflegt alsdann in wenig Jahren vollständig zu erfolgen.

Die Erbauung der Entwässerungs-Schleuse oder des Sieles erfordert eine besondere Vorsicht. Hiervon wird im Folgenden die Rede sein, und hier wäre nur zu bemerken, dafs man dazu festen Untergrund wählen mufs, woher nicht leicht die Abführung des Wassers in derselben Rille erfolgen kann, in welcher dieses vor der Eindeichung vom Groden abflofs.

§. 16.

Sicherung der Seedeiche.

Die Seedeiche, welche an sich nicht die erforderliche Stärke haben, oder wegen Unzulänglichkeit des Aufsendeiches besonders bedroht werden, pflegt man durch gewisse Sicherungs-Maafsregeln schon vor dem Eintritt wirklicher Beschädigungen gegen solche zu schützen. Dieses geschieht unter zwei verschiedenen Gesichtspunkten. Diese Schutzmittel sind nämlich entweder dauernd, oder man bringt sie nur während des Winters in Anwendung, wenn die hef-

tigsten Stürme und höchsten Fluthen zu erwarten sind, und beseitigt sie demnächst wieder beim Eintritt des Frühjahrs. Die ersteren haben unbedingt den Vorzug, dafs sie auch bei ungewöhnlich ungünstiger Witterung im Sommer zur Wirksamkeit kommen, also auch in diesem Falle die Gefahr abwenden, doch sind sie viel kostbarer, als die letzteren. Demnächst wird hier auch von solchen Vertheidigungs-Arbeiten die Rede sein, die man erst vornimmt, wenn die Beschädigungen bereits eingetreten sind. Diese zerfallen wieder in zwei Klassen, je nachdem man sie mit Mufse ausführen kann, wodurch der Deich wieder in den normalen Zustand versetzt wird, oder sie sollen nur der augenscheinlichen Gefahr vorbeugen und den Deich nothdürftig erhalten. Letztere müssen also später wieder beseitigt und durch die ersteren ersetzt werden.

Wenn ein Deich den im vorigen Paragraph bezeichneten Regeln entsprechend ausgeführt ist und gehörig unterhalten wird, er also aus zähem Thone besteht, die gehörige Höhe und hinreichend flache und gut benarbte Dossirungen hat, auch vor ihm ein breiter und hoher Aufsendeich liegt, so bedarf er keines weiteren Schutzes. Diese günstigen Verhältnisse treten indessen vorzugsweise nur an Meeres-Buchten oder an solchen Ufern ein, die keinem besonders heftigen Angriffe ausgesetzt sind. An der offenen See sind sie sehr selten, und kommen daselbst vielleicht niemals in vollem Maafse vor. Am häufigsten geschieht es, dafs man die Uferdeckung zur rechten Zeit versäumt hat, also das Vorland abgebrochen ist. Will man einen Deich, dessen Fufs bereits an den Rand des Ufers tritt, noch erhalten, so mufs jedenfalls die Uferdeckung vorgenommen werden, aber dieselbe genügt allein nicht mehr, weil die Wellen alsdann schon in ungeschwächter Kraft den Deich treffen, und den Rasen, der ihn schützt, sehr bald zerstören. Vielfach sind die Umstände aber noch ungünstiger und namentlich ist bei einem grofsen Theile der Niederländischen Deiche selbst diese spätere Uferdeckung versäumt oder in ungenügender Weise ausgeführt, so dafs auch die flache äufsere Böschung dem Deiche fehlt und derselbe sehr steil aus der Tiefe ansteigt. In einzelnen Fällen ist diese Böschung gar nicht mehr vorhanden und der Deich mufs alsdann an eine senkrechte oder beinahe senkrechte Wand gelehnt werden. In dieser Weise sah man vor einigen Jahrzehnden zwischen Amsterdam und Haarlem sowol Bohlwerke, als auch Mauern,

welche die Stelle der äufsern Dossirung des Sloter-Deiches ersetzten, und bei Zwart Sluis an der Mündung der Vechte ohnfern Zwolle befand sich das Bohlwerk, welches den Deich schützte, in geringem Abstande von demselben und der Zwichenraum war mit Torf ausgepackt. Zu diesen Deichen, die gar keine äufsere Dossirung haben, gehören vorzugsweise die sogenannten Wierdeiche an der Süder-See, die in der ersten Hälfte dieses Jahrhunderts noch vielfach und in grofser Ausdehnung vorhanden waren.

Deiche, welche einem starken Wellenschlage ausgesetzt sind, werden häufig durch Steindecken geschützt. Wie sicher und empfehlenswerth dieses Mittel aber auch ist, so verbietet sich dessen Anwendung doch in den meisten Fällen wegen der grofsen Kostbarkeit, weil natürliche Steine in den Marschgegenden nicht vorkommen, und künstliche nicht wohlfeil genug sind, um die weit ausgedehnten Dossirungen der Deiche damit zu bedecken. Es findet daher nur eine beschränkte Anwendung dieser Deckungsart statt, und selbst wo man sich dazu entschliefst, wird sie gemeinhin nur zur Sicherung des untern Theiles der Dossirungen benutzt, während der obere entweder durch die Rasenbekleidung, oder vielleicht im Winter noch durch die bereits angedeuteten zeitweisen Deckungen geschützt wird. Obwohl der Wellenschlag um so verheerender wirkt, je höher die Fluth steigt, und sonach gerade die obern Theile des Deiches alsdann am meisten leiden, so rechtfertigt sich diese Anordnung dennoch dadurch, dafs sehr hohe Fluthen nur selten eintreten, auch nach kurzer Dauer der Wasserstand wieder niedriger wird, man also mit grofser Sicherheit hoffen darf, die entstandenen Beschädigungen ausbessern zu können, bevor sie zu einer gefahrdrohenden Gröfse angewachsen sind.

Ueber die Ausführung dieser Steindecken ist wenig zu sagen, da sie mit denjenigen genau übereinstimmen, welche bei Uferdeckungen üblich sind, von denen im folgenden Abschnitte die Rede sein wird. Hier wäre nur zu erwähnen, dafs man vor einigen Jahrzehnden in den Niederlanden den gebrannten Steinen dadurch ausgedehntere Anwendung für diesen Zweck zu verschaffen bemüht war, dafs man sie in ungewöhnlicher Gröfse darstellte. Die üblichen Ziegel sind zur Deckung der Meeresufer sehr brauchbar, und schützen sogar wegen ihres genauen Schlusses den Untergrund vollständiger, als eine Decke aus gewöhnlichen Feldsteinen. Sie haben

aber so wenig Masse, dafs sie von den Wellen fortgerissen werden, sobald sie den dichten Schluſs verloren haben, und eine gröfsere Angriffs-Fläche bieten. Aus diesem Grunde muſs man sie noch dadurch in ihren Lagern zu halten suchen, dafs man sie nur auf sehr flachen Böschungen benutzt, und hierdurch wird ihre Anwendung aufserordentlich beschränkt.

In den Jahren 1811 bis 1813 liefs der Ober-Ingenieur Wildeman zuerst solche gröfsere Steine formen und brennen, und verwendete sie zur Bekleidung des sogenannten Bentdijk bei Vollenhove in der Provinz Overijssel. Ihre quadratische Oberfläche hielt in den Seiten 16 Zoll und ihre Dicke maafs $7\frac{1}{2}$ Zoll. Jeder Stein war daher etwas über einen Cubikfufs grofs und wog 128 Pfund. Die Verwendung geschah in der Art, dafs eine Böschung von dreifacher Anlage sich in der Höhe des niedrigen Wassers an eine schwache aber dicht schliefsende Pfahlwand lehnte. Der Boden wurde zuerst mit drei Schichten gewöhnlicher Ziegel überdeckt, diese Ziegel lagen, wie bei gewöhnlichen Mauern auf den flachen Seiten, und um die Fugen gehörig zu wechseln, waren nur die Steinreihen der untern Schicht zum Ufer parallel gelegt, die der folgenden kreuzten diese dagegen unter Winkeln von 30 Graden, indem die Reihen in der einen Schicht nach der rechten und in der andern nach der linken Seite gewendet waren. Auf diese Art wurde die parallele Richtung der Fugen vollständig vermieden. Hierüber lagen die erwähnten grofsen Steine. Sie bildeten Reihen in der Richtung des Ufers, und die einzelnen Steine waren so versetzt, dafs die Querfugen immer auf die Mitte der Steine in der nächsten Reihe trafen. Diese Steindecke soll sich sehr gut und beinahe ohne Reparatur während der dreifsig Jahre, seitdem sie ausgeführt wurde, gehalten haben.

Später versuchte Corman die Steine, welche beinahe dieselbe Gröfse hatten, so zu formen, dafs sie auf allen Seiten mit halber Spundung versehn waren. Dadurch wurde es freilich möglich, eine einzige Lage zu bilden, in welcher sich keine durchgreifende Fugen befanden. Dieser Versuch mifsglückte indessen, indem die vortretenden Backen bei ihrer geringen Stärke bald abbrachen. Am meisten haben die Steine aus der Ziegelei des Fabrikanten Terwindt Anwendung gefunden, die, wenn sie auch noch keiner so langen Probe unterworfen sind, sich doch eben so gut, wie die ersten zu

halten scheinen. Sie liegen nur stumpf neben einander, sind 15¼ Zoll lang, 11¼ Zoll breit und 7⅞ Zoll stark, ihr cubischer Inhalt beträgt daher etwas über drei Viertel Cubikfufs. Dafs diese sämmtlichen Steine sehr hart gebrannt sein müssen, darf kaum erwähnt werden.

Man hat in den Niederlanden auch den Versuch gemacht, die Steindecke auf den Deichen nicht mit gleichmäfsiger Neigung ansteigen zu lassen, sondern sie vielmehr als hohle Cylinder-Fläche darzustellen. In dieser Art wurde im Jahre 1836 eine 37 Ruthen lange Deichstrecke auf der Insel Goeree befestigt. Fig. 32 zeigt das Profil derselben. Der Bogen ist mit dem Radius von 2 Ruthen beschrieben. Der Untergrund, der aus Sand besteht, ist zunächst mit einer 15 Zoll hohen Lage Klai bedeckt. Hierüber sind zwei Lagen Klinker ausgebreitet, die sich in den Fugen überdecken, und auf diesen ruht das eigentliche Steinpflaster, welches aus Säulen-Basalten besteht, die sämmtlich gleiche Höhe haben und dicht schliefsend an einander gestellt sind. Die Höhe der Steine mifst 19 Zoll. Der Fufs dieses Werkes lehnt sich zunächst gegen einen Flechtzaun, und vor demselben befinden sich noch vier andre Zäune, die zugleich zur Befestigung einer Risberme dienen, die mit schweren Steinen bedeckt ist. Auch auf der obern Seite wird die Steinböschung durch eine Lage Faschinen eingeschlossen, worüber der unbefestigte Deich sich fortsetzt.

Storm Buysing*), der diesen Bau beschreibt, sagt nicht, ob derselbe sich gut gehalten habe, indem er jedoch hinzufügt, dafs die Ausführung sehr mühsam und kostbar ist, weil man die gewöhnlichen rohen Steine dazu nicht verwenden darf, so ist wohl anzunehmen, dafs diese Construction nicht besondern Beifall gefunden haf. Er bemerkt dabei, dafs die Anordnung sich nur vor Festungsmauern empfehlen dürfte, die vom Wellenschlage getroffen werden, und welche man in ihrem Fufse sehr sicher decken und mit dem Vorlande verbinden mufs, weil sonst starke und gefährliche Vertiefungen davor entstehn. Er schlägt daher vor, bei Vliessingen diese Deckungsart anzuwenden. Als Deichschutz scheint dieselbe demnach nicht zweckmäfsig gewählt zu sein. Das Ueberschlagen der Wellen kann sie nicht verhindern, weil sie theils nicht die volle

*) Bouwkundige Leercursus. Breda, 1854. I. Pag. 648.

Deichhöhe erreicht, theils aber auch nicht in die vertikale Richtung übergeht, also das gegenschlagende Wasser, wenn die Richtung seiner Bewegung auch etwas verändert wird, dennoch den obern Theil des Deiches sehr stark trifft.

Bei Deckung des Aufsendeiches ohnfern der Kugel-Baake bei Cuxhaven hat man diese Anordnung insofern geändert, dafs die gekrümmte Steindossirung bis zur vollen Uferhöhe hinauf reicht, auch zugleich in die vertikale Richtung übergeht, und hier sollen vergleichungsweise gegen die frühere gleichmäfsig geneigte Böschung die Beschädigungen im anschliefsenden Terrain wesentlich vermindert sein.

Ganz im Gegensatze hiermit ist von andern Baumeistern, denen sich auch Woltman anschliefst, empfohlen worden, dem untern Theile der Steinböschung auf den Deichen eine stärkere Neigung, als dem oberen zu geben, also nicht eine concave, sondern eine convexe Cylinderfläche zu wählen. Auch dieses ist oft mit günstigem Erfolge zur Ausführung gekommen.

Die Anwendung des Strauches zur Sicherung der Deiche ist vorzugsweise nur üblich, wenn es sich darum handelt, starke Beschädigungen, die während eines Sturmes entstanden sind, schleunig soweit auszubessern, dafs während der nächsten Fluthen ein Durchbruch des Deiches nicht zu besorgen ist. Aufserdem benutzt man aber noch in eigenthümlicher Weise das Strauch, um bei heftigen Stürmen und beim Vorbeitreiben des Eises während des Winters den Rasen auf der äufsern Böschung zu schützen. Dieses geschieht mittelst Hürden oder solcher Tafeln aus Flechtwerk, die als leichte Einfriedigung zum Einstellen der Schafe während der Nacht auf den Weideplätzen vielfach benutzt werden. Jede dieser Hürden ist 6 bis 8 Fufs lang, und etwa 2 Fufs breit. Die Stöcke, welche mit dünnen Weidenruthen umflochten sind, liegen in der Längenrichtung der Hürde und sind etwa 2 Zoll von Mitte zu Mitte von einander entfernt. In den Provinzen Zeeland, Gelderland und Overijssel hält man grofse Vorräthe solcher Hürden in Bereitschaft, und bewahrt sie in eignen Schuppen neben den Deichen auf. Beim Eintritt der stürmischen Witterung, und gewöhnlich in der Mitte des Monats October werden sie auf die Dossirungen gelegt, so dafs sie mit der schmalen Seite die Steindecke am Fufse des Deiches berühren, sich daher in ihrer Länge nach der Krone hinaufziehn.

Man legt sie so, dafs sie sich etwa 2 Zoll überdecken, und befestigt jede in der Mitte der drei freiliegenden Seiten mit eben so vielen hölzernen Pflöcken, die etwas schräge in den Deich eingestofsen werden. Der Pflock in der langen Seite greift daher durch 2 Hürden hindurch. Wenn dagegen der Deich den Stürmen sehr ausgesetzt ist, also starke Beschädigungen auch in gröfserer Höhe sich noch ereignen können, so wird eine zweite Reihe Hürden noch neben die erste gelegt, die also weiter aufwärts die Dossirung schützt. Man sieht im Spätherbste vielfach auf einige hundert Ruthen Länge die Deiche in dieser Weise bedeckt, doch geschieht dieses immer nur an solchen Stellen, die einem besonders heftigen Wellenschlage ausgesetzt, auch in andrer Weise gefährdet sind, also namentlich wenn die äufsern Böschungen steil ansteigen und nicht durch breites und hohes Vorland geschützt werden. Im ersten Frühjahre beseitigt man jedesmal diese Hürden, weil sie alsdann entbehrlich sind, auch der Rasen leiden würde, wenn er noch bedeckt bliebe, während das Gras schon zu wachsen anfängt.

Zuweilen wird auch eine gewöhnliche Strauchdecke über den Rasen zum Schutze desselben ausgebreitet, und namentlich geschieht dieses, wenn die Soden erst im Herbste verlegt werden konnten, also noch nicht gehörig angewachsen und durch neue Wurzeln mit dem Untergrunde verbunden sind. Wollte man indessen das Strauch unmittelbar auf den Rasen legen, so würde es aller Sorgfalt unerachtet doch keine gleichmäfsige und dichte Decke bilden. Es wäre vielmehr zu besorgen, dafs das aufschlagende Wasser durch einzelne stärkere Zweige zurückgehalten würde, und um so heftiger durch die Oeffnungen, die sich daneben befinden, eindringen, und dadurch den Deich noch stärker beschädigen könnte. Man mufs daher eine besondere und besser schliefsende Unterlage bilden, die unmittelbar auf dem Rasen ruht. Hierzu wählt man Haidekraut, oder noch häufiger Stroh.

In den Niederlanden werden solche Deckungen häufig sehr sorgfältig ausgeführt. Zunächst breitet man das feine Material in einer dünnen Lage aus, die den Rasen vollständig überdeckt. Hierauf folgt eine Lage Rohr, die etwa 2 Zoll stark ist, und in welcher die Halme parallel zum Deiche gerichtet sind. Sollte die Böschung so steil sein, dafs das Rohr nicht sicher liegt, und auf dem Stroh herabgleitet, was besonders bei heftigem Landwinde zu besorgen ist,

so befestigt man es vorläufig durch leicht eingestofsne hölzerne Pflöcke, die später wieder entfernt werden. Die dauernde Haltung wird dem Rohre durch die Strauchdecke gegeben. Diese erhält eine Stärke von 5 Zoll, und die sämmtlichen Reiser in ihr sind normal gegen das Ufer gerichtet. Man beginnt die Bespreutung am obern Ende der Stroh- und Rohrdecke und legt die ersten Reiser so, dafs sie mit ihren Stammenden noch etwa einen Fufs weit über die Unterlage vorragen. Auch die zweite Reihe Strauch wird noch mit den Stammenden nach oben gekehrt, bei der dritten wechselt man aber, und bei dieser, wie bei allen folgenden liegen die Stammenden abwärts. Die einzelnen Reihen greifen jedesmal etwa 1 Fufs weit übereinander, nur oben und unten wählt man etwas geringere Absätze, damit die Dicke der ganzen Lage etwas gleichmäfsiger wird. Zur Befestigung des Strauches dienen endlich Zäune von etwa 6 Zoll Höhe, die wieder nach der Länge des Deiches gezogen sind. Diese bestehn, wie in Holland üblich, aus sehr sorgfältig ausgeführtem Flechtwerke. Oft ist jeder vierte Zaunpfahl am Kopfe mit einem Vorstecknagel versehn, und wird, nachdem er beflochten ist, scharf angetrieben, so dafs die Nägel auf die Flechtruthen und diese wieder auf das Strauch drücken. Die Spannung, in welche hierdurch die gesammte Decke versetzt wird, pflegt aber nicht lange Bestand zu haben, und namentlich wenn die Wellen längere Zeit hindurch aufgeschlagen sind, so geben die einzelnen Halme und Reiser etwas nach oder lagern sich etwas dichter in einander. Man mufs alsdann die Zaunpfähle von Neuem nachtreiben, wodurch die Decke für den ganzen Winter hinreichend gesichert zu sein pflegt. Diese Zäune stehn sehr nahe neben einander, und um so näher, je steiler die Dossirung, oder je mehr diese in andrer Beziehung gefährdet ist. In manchen Fällen bleibt zwischen den Zäunen fast gar kein freier Raum, gemeinhin sind sie jedoch 9 bis 13 Zoll von einander entfernt. Unter besonders ungünstigen Umständen packt man auch wohl Steine zwischen die Zäune, oder wie noch häufiger geschieht, legt man in Abständen von 2 bis 3 Fufs starke Stangen quer über die sämmtlichen Zäune, und befestigt diese dadurch, dafs in geringen Entfernungen von der einen und der andern Seite Pfähle schräge in den Deich eingetrieben werden. Diese verhindern ein Aufheben der Stangen und sonach der ganzen Bedeckung.

Eine andre eigenthümliche Methode zum zeitweisen Schutze des

Deiches wurde vor 40 Jahren im Oldenburgischen versucht und nach den ersten Erfahrungen auch vortheilhaft befunden. Man hatte nämlich bemerkt, dafs die Beschädigungen der Deiche immer in einer bestimmten Höhe, nämlich wenig über der gewöhnlichen Fluth ihren Anfang nahmen, und sich von hier aus weiter verbreiteten. Hiernach lag die Idee sehr nahe, auf diese Stelle die möglichste Sorgfalt zu verwenden und einen recht kräftigen Schutz hier darzustellen. Den ersten Versuch in dieser Beziehung machte man an dem Kade-Deiche, in dessen Schutz der neue Hauptdeich vor dem Wapeler Groden ausgeführt wurde. Dieser Deich war sehr steil dossirt, und da er nur während eines Sommers erhalten werden durfte, mit keiner Rasenbekleidung versehn. Nachdem er wiederholentlich starke Beschädigungen erlitten hatte, so versah man ihn in der bezeichneten Höhe mit einer einzelnen Reihe Rasen, und seitdem dieses geschehn, hörten die Beschädigungen auf. Durch diesen Erfolg ermuthigt, liefs Burmester, der damals dem Wasserbau im Oldenburgischen vorstand, auch diejenigen Hauptdeiche an der Jade, die besonders starken Angriffen ausgesetzt waren, nicht in ihrer ganzen Dossirung, sondern nur in der bezeichneten Höhe mit einem kräftigen Schutze versehn. Es wurden der Länge nach zwei Gänge Dielen ausgelegt, die zwischen sich einen Raum von etwa 6 Zoll Breite frei liefsen. Quer über dieselben breitete man Strauch aus, und auf dieses legte man einen dritten Gang, der parallel zu den untern den Zwischenraum derselben überdeckte. Der letzte Gang war an beiden Enden jeder Diele und aufserdem in Abständen von etwa 10 Fufs, mit Löchern von 5 bis 6 Zoll Weite versehn. Durch diese Löcher wurden kleine eichene Pfähle hindurchgetrieben, die nahe unter ihren Köpfen durchlocht und mit starken hölzernen Pflöcken versehn waren. Letztere drückten gegen die Dielen des obern Ganges und verhinderten sonach das Aufschwimmen der ganzen Packung, während die Pfähle selbst ein Verschieben wo nicht verhinderten, doch sehr erschwerten. Diese Deckungsart zeigte sich Anfangs als sehr erfolgreich, nichts desto weniger ist man, durch spätere Erfahrungen belehrt, davon wieder abgegangen.

Zum Schutze derjenigen Deiche, die nicht nur das Vorland, sondern auch die äufsere Dossirung verloren haben, wendete man sonst auf der westlichen Seite des Süder-Sees vielfach hohe Packun-

gen von Gras an, die bei ihrer grofsen Breite eine Art von Futtermauer bildeten, gegen welche sich die Erde des Deiches ohne alle Dossirung lehnte. Diese Packung war auf der äufsern Seite eben so wenig, wie auf der innern mit einer Böschung versehn, bei ihrem innigen Zusammenhange und ihrer grofsen Elasticität widerstand sie aber ohne merkliche Beschädigung selbst dem heftigsten Wellenschlage, und wenn der Sturm auch grofse Massen des frisch aufgebrachten Grases forttrieb und zum Theil sehr weit in das Land wehte, so war die Ergänzung desselben doch mit so wenig Kosten und Mühe verbunden, dafs die Unterhaltung dieser eigenthümlichen Deiche vergleichungsweise gegen andre Arten des Deichschutzes sich keineswegs als kostbar herausstellte. Diese Deiche bestanden bereits seit Jahrhunderten, doch erforderten sie fortwährende Aufmerksamkeit und boten nicht diejenige Sicherheit, welche die niedrige Lage Nordhollands dringend forderte, woher man sie in neuerer Zeit nach und nach beseitigt, und dafür gehörig profilirte Erddeiche mit Steindecken vor dem Fufse eingeführt hat.

Das Gras, das hierbei benutzt wurde, wächst unter Wasser auf Schlickbänken, die bei der Ebbe nicht trocken werden, jedoch auch nicht tief darunter liegen. Namentlich findet es sich neben der Insel Wieringen in grofsen Massen, indem es, wie eine dichtbewachsene Wiese ausgedehnte Flächen überzieht. In der Umgegend nennt man es Wier-Gras, es ist der Wasserriemen (Zostera marina). Ende Juni wird dieses Gras gemäht, und in Böten ans Ufer gefahren, später löst sich der Stengel aber von selbst von der Wurzel, oder wie die Anwohner meinen, wird er von Wasservögeln abgebissen. Das Gras treibt alsdann bei Fluth und Ebbe in einer und der andern Richtung in grofser Menge vor dem Ufer vorbei. Um es aufzufangen, wendet man ein sehr einfaches Mittel an, man befestigt nämlich gewöhnliche Leitern in der Art vor dem Ufer, dafs ihre Sprossen senkrecht stehn, und indem sie auf dem Wasser schwimmen, werden ihre äufseren Enden durch zwei Leinen gehalten, so dafs sie weder bei der einen Strömung, noch bei der andern aus der normalen Richtung gegen das Ufer entfernt werden können. Diese Leitern fangen das vorbeitreibende Gras auf und zwar in solcher Masse, dafs oft in einer Fluth oder Ebbe ein ganzes Fuder an eine Leiter lehnt. Ehe die Strömung aufhört und umsetzt, wird mittelst langer Rechen der Fang auf das Ufer ge-

zogen, und bald darauf auf die Deiche gebracht. Man mufs es aber in kurzer Zeit verwenden, weil es in dem nassen Zustande sich besser lagert, als wenn es vorher ausgetrocknet wäre.

Durchschnittlich wird in jedem Jahre eine Schüttung von 1 Fufs bis 2 Fufs Stärke auf den Deich gebracht, ein kleiner Theil davon fliegt zwar fort, oder wird auch vom Wasser weggespült, das meiste bleibt aber liegen. Man darf jedoch nicht voraussetzen, dafs bei dieser sehr bedeutenden jährlichen Aufschüttung der Deich fortwährend höher wird, die neue Lage wird vielmehr, wenn sie durch andre überdeckt, und vollständig ausgetrocknet ist, überaus dünne, und die einzelnen Blättchen sind alsdann viel dünner als das feinste Briefpapier. Sie bleichen dabei vollständig aus, und wenn man bei starkem Winde in der Nähe eines solchen Deiches sich befindet, so sieht man die feinen Stückchen wie Schneeflocken umherfliegen. An der Seeseite treten alle Lagen hervor, sie sind unregelmäfsig abgebrochen, und jede einzelne hat fast das Ansehn, als wenn ein Stück Pappe durchrissen wäre. Nur selten sieht man aber eine Lage, die mehr, als einen halben Zoll dick geblieben wäre.

Fig. 31 *a* und *b* zeigt einen Wierdeich in der Nähe von Medenblick. Die Grasschüttung oder der Wierriemen ist etwa 10 Fufs breit, und erhebt sich einige Fufs hoch über die Krone des Erddeiches. Dieses ist in sofern nothwendig, als der obere Theil gar keine Consistenz hat. Am Fufse ist er jedesmal durch eine Steinschüttung geschützt, die auf einer Faschinenpackung ruht und die eigentliche Uferdeckung bildet. Dazwischen sieht man gemeinhin eine grofse Anzahl abgebrochener Pfahlköpfe, und einzelne Pfähle werden in Abständen von 8 bis 12 Fufs vor dem Deiche immer unterhalten, damit der Riemen auf der Seeseite einigermaafsen eine Stütze hat, und die Aufschüttungen regelmäfsig erfolgen können. An manchen Deichen dieser Art fehlt indessen diese Pfahlreihe, und die Wand steht ganz frei. Die Erdschüttung mufs sich jedenfalls scharf dagegen lehnen, und damit nicht etwa das Wasser in die Fuge zwischen beiden sich einziehn und eine Trennung veranlassen kann, so pflegt man dem nächsten Theile der Krone eine starke Neigung zu geben, wodurch das Wasser landwärts geleitet wird. Endlich ist noch zu erwähnen, dafs bei diesen Deichen die Erdschüttungen jedesmal ungewöhnlich breite Kronen haben,

und hierdurch ohnerachtet der fehlenden äufsern Dossirungen doch starke Profile sich bilden.

Zuweilen werden Deiche, denen das Vorland ganz fehlt, vor dem Fufse ihrer äufseren Böschungen durch dichte Holzwände geschützt, die alsdann auch zugleich zur Uferbefestigung dienen. Die Wellenbewegung hinter ihnen ist, selbst wenn sie bei hohen Fluthen ganz unter Wasser stehn, doch sehr gemäfsigt, woher auf diese Weise starken Beschädigungen des Deiches sicher vorgebeugt wird. Es soll auch nicht leicht vorkommen, dafs diese Wände, wenn sie nur einigermaafsen noch haltbar sind, ganz oder theilweise vom Wellenschlage zerstört werden. Vorzugsweise hängt ihre Dauer davon ab, ob der Seewurm an den Ufern, wo man sie erbaut, sich vorfindet oder nicht. Im ersten Falle mufs man von der Anwendung des Holzes ganz Abstand nehmen, oder dasselbe nur unter dem gewöhnlichen niedrigen Wasser, also zur Befestigung von Steinschüttungen benutzen.

Demnächst leiden diese Wände auch vom Eise, und namentlich, wenn solches noch in gröfsern Schollen vorbeitreibt und vom Winde dagegen gedrängt und zugleich durch die Wellen auf- und abbewegt wird. Endlich übt die abwechselnde Benetzung und Austrocknung gleichfalls ihre zerstörende Wirkung auf sie aus, doch ist diese keineswegs so grofs, wie bei gewöhnlichen Bohlwerken, weil die Fäulnifs nicht durch die Berührung mit vegetabilischen Stoffen befördert wird, auch die abwechselnde Benetzung durch Seewasser viel weniger nachtheilig ist. In Gegenden, wo der Seewurm sich gar nicht oder doch nur selten vorfindet, nimmt man in den Niederlanden eine dreifsigjährige Dauer für diese Wände an, und wenn sie der Einwirkung des Eises entzogen sind, sogar eine funfzigjährige. Auf der Insel Wieringen findet man aber Wände, die bereits 60 Jahre alt sind, und noch für hinreichend haltbar erachtet werden.

Fig. 33 zeigt einen solchen Bau, der vor den am meisten bedrohten Stellen der Deiche auf der westlichen Küste der Provinz Friesland ausgeführt ist. Vor der Holzwand liegt eine sehr solide Uferdeckung, die nahe 5 Fufs über das gewöhnliche Hochwasser ansteigt, und die Wand selbst erhebt sich 12 Fufs über letzteres. Auf der hintern Seite lehnt sie sich zunächst an eine niedrigere Wand an, die eben so, wie sie selbst, aus starken Bohlen besteht. Indem

beide aber gegenseitig ihre Fugen überdecken, so bilden sie zusammen eine Stülpwand, wie solche bei uns vielfach bei Fundirungen statt der Spundwände benutzt werden. Sowol die vordere, als die hintere Bohlenreihe wird durch eine starke Zange unterstützt, die an jeden einzelnen Bohlenkopf genagelt ist.

Auf der innern Seite, und zwar im Abstande von 2 Fufs befindet sich eine andre ähnliche, jedoch nur einfache Wand, und der Zwischenraum zwischen beiden ist mit Ziegelstücken gefüllt und mit grofsen Steinen überdeckt.

Die Figuren 34 und 35 zeigen die zum Schutze der Deiche auf der Insel Schokland im Süder-See dienenden Ufereinfassungen. Auf der Ostseite und überhaupt an denjenigen Ufern, wo der Wellenschlag mäfsiger ist, hat man die einfachere Construction Fig. 34 gewählt, auf der westlichen Seite dagegen, die einem viel stärkeren Angriff ausgesetzt ist, die in Fig. 35 dargestellte. Die dichte Pfahlwand wird bei beiden in Abständen von etwas über 6 Fufs durch Anker gestützt, die jedesmal an zwei oder drei Ankerpfähle gebolzt sind, und deren Köpfe sowol auf die Zange hinter der Pfahlwand eingekämmt und durch Bolzen daran befestigt werden, als sie auch mit schwalbenschwanz-förmiger Verkämmung zwischen die Pfahlköpfe greifen. Die Hinterfüllung besteht aus Ziegeln, die auf einer Unterlage von Strauch ruhen und mit gröfsern Feldsteinen überdeckt sind. Aufserdem ist bei der Fig. 35 dargestellten Construction die Steinschüttung auch noch auf der innern Seite durch eine Holzwand eingeschlossen. In beiden Fällen vertreten diese Holzwände zugleich die Stelle der Uferdeckung, und man hat ihren Fufs nicht gesichert, weil die Schiffahrt eine bedeutende Tiefe davor fordert. Nicht nur der Verkehr mit der Insel veranlafst ein häufiges Anlegen der Schiffe an diese Ufer, sondern dieses geschieht auch vielfach, wenn ein starker Sturm eintritt, und die auf der Süder-See befindlichen Fahrzeuge wegen der Untiefen, welche die Fahrwasser beengen, verhindert werden unter Segel zu bleiben. Sie werden alsdann, wenn es irgend geschehn kann, nach der Insel Schokland gesteuert und ankern entweder in deren Schutz, oder wenn ihr Tiefgang nicht grofs ist, so legen sie auf der Leeseite auch unmittelbar an das Ufer an.

Diese Holzwände auf Schokland werden in neuerer Zeit in sofern bedroht, als der Seewurm sich jetzt darin viel häufiger, als

früher zeigt. Nichts desto weniger wird die Gefahr noch nicht für hinreichend grofs erachtet, um von dieser Construction abzugehn. Man hat nur die Aenderung eingeführt, dafs man statt des Kiefernholzes gegenwärtig meist Eichenholz benutzt.

Bisher war nur von den Schutzmitteln die Rede, die man anwendet, um Beschädigungen der Deiche zu verhindern. Sind solche bereits eingetreten, so ist die Art ihrer Wiederherstellung wesentlich verschieden, je nachdem die Arbeit mit Mufse und vollständig vorgenommen werden kann, oder vielleicht bei der nächsten Fluth schon eine augenscheinliche Gefahr eintritt, wenn die weitere Ausdehnung der Zerstörung nicht verhindert wird. In Betreff des ersten Falles ist wenig zu erinnern, da die Methoden der Wiederherstellung mit denen des Neubaues sehr nahe übereinstimmen. Hierbei wäre nur darauf aufmerksam zu machen, dafs die Erhaltung des Rasens auf den Dossirungen eine besondere Vorsicht erfordert. Es ist freilich nicht zu vermeiden, dafs man auch kleinere Stellen mit neuem Rasen belegen mufs, wenn derselbe vollständig abgestofsen ist, indem jedoch dabei eine innige Verbindung erst nach Jahren eintritt, so mufs man bei Reparaturen den gut angewachsenen Rasen möglichst schonen. Hieher gehört namentlich der Fall, dafs an einzelnen Stellen in der Dossirung Versackungen sich zeigen. Dieselben erscheinen Anfangs wenig erheblich und sogar ohne alle Bedeutung, aber wenn sie auch nur geringe sind, so unterbrechen sie doch die Gleichmäfsigkeit und veranlassen, dafs der Wellenschlag auf einzelne kleine Flächen einen verstärkten Angriff ausübt. Der obere Theil einer solchen eingesunkenen Stelle nimmt eine steilere Neigung an, als er früher hatte, und hierdurch wird nicht nur die Vegetation daselbst erschwert, sondern gerade hier erfolgt auch beim Auflaufen der Wellen ein heftigerer Stofs. Beide Umstände wirken auf die Vergröfserung der Unregelmäfsigkeit hin, und nach einigen Jahren ist der Rasen, wenn auch keine sonstige Zufälligkeiten den Schaden weiter ausgedehnt haben, doch so mangelhaft, dafs man ihn vollständig erneuen und die entstandene Vertiefung, ehe man neue Soden darüber legt, mit Erde anfüllen mufs. Dieses läfst sich vermeiden, wenn man gleich Anfangs auf die Beseitigung der noch geringen Versackung hinwirkt. Sobald diese nämlich nur noch wenige Zolle tief ist, so bringt man im ersten Frühjahre oder im Anfange des Sommers, also in Zeiten,

wenn das Gras stark treibt, dünne Lagen recht fruchtbarer Erde auf, die jedoch nicht zu fest angestampft sein müssen. Durch diese wächst der Rasen hindurch, und indem die Pflanzen im frischen Boden Wurzeln schlagen, so erhöht sich der Rasen. Wenn aber die Vertiefung hierdurch noch nicht ausgefüllt sein sollte, so wird dasselbe Verfahren bei nächster Gelegenheit wiederholt, bis die Dossirung vollkommen regelmäfsig wieder hergestellt ist. Auf diese Art umgeht man das Umlegen des Rasens, und wenn vielleicht bei einem Sturme die frisch angeschüttete Erde auch fortgespült werden sollte, so ist dieser Schaden nicht von Bedeutung und mit keiner Gefahr verbunden. In Holland ist ein solches Verfahren nicht ungewöhnlich, dadurch ist es aber allein möglich, die Regelmäfsigkeit der Dossirungen zu erhalten, die vergleichungsweise mit andern Deichen oft überraschend grofs ist, und zu ihrem Schutze wesentlich beiträgt.

Wenn dagegen starke Sackungen eingetreten sind, und entweder der Rasen sich schon löst und abstirbt, oder die Deichkrone erhöht werden mufs, alsdann wird man sich dazu entschliefsen, den Deich abzuschälen und mit Erde zu beschütten. Es darf kaum erwähnt werden, dafs man auf die innige Verbindung der neuen Erde mit der alten möglichst sehn, und zu diesem Zwecke die Dossirungen nicht nur auflockern, sondern selbst abtreppen mufs. Andrerseits ist es aber auch nothwendig, die Aufschüttung so weit abwärts fortzusetzen, dafs eine hinreichend flache Böschung entsteht. Bis zum Fufse der äufsern Böschung geht man selten herab, um nicht die ganze Grasnarbe erneuen zu dürfen, wenn aber eine ansehnliche Erhöhung der Krone nothwendig ist, so ist es oft vortheilhafter, die äufsere Böschung ganz unberührt zu lassen und die der Erhöhung entsprechende Verstärkung nur an der innern Seite anzubringen.

Ist der Rasen stark beschädigt, und seine baldige Wiederherstellung nothwendig, so kann das Belegen mit neuen Soden nur vorgenommen werden, wenn die Jahreszeit hierzu günstig ist. Andernfalls mufs man durch gewisse vorläufige Schutzmittel den Deich gegen weitere Zerstörung sichern. Vorzugsweise eignet sich hierzu die Stroh-Bestickung, doch erfordert dieselbe, wenn grofse Stellen zu decken sind, mehr Zeit, als bis zum Eintritt der nächsten Fluth geboten ist. Auch bemerkt man vielleicht erst beim

fallenden Wasser die eingetretene Beschädigung, und sonach genügt die kurze Zwischenzeit noch nicht, um das Material herbeizuschaffen. In diesem Falle ist das Ueberspannen von Segeln besonders üblich. An den Deichen in Friesland und Overijssel hält man zu diesem Zwecke stets Segel in Bereitschaft, die über die kahlen Stellen gelegt, mit Pflöcken befestigt und am untern Ende durch angebundene Steine gehalten werden. Man kann hiervon jedoch nur Gebrauch machen, wenn es sich um die Sicherung des beschädigten Rasens handelt. War der Deich schon früher zur Vorsorge mit Strauch bedeckt, das theilweise fortgerissen ist, so legt sich das Segel nicht so dicht schliefsend an, dafs es das fernere Ausspülen der Erde verhindern könnte, auch wird es vom Strauch und den Zaunpfählen in Kurzem so zerrissen, dafs es keinen Schutz gewährt.

In diesem Falle, oder wenn die Segel nicht schnell genug zu beschaffen sind, werden die Einrisse gemeinhin mit Strauch ausgedeckt. Dieses mufs auch geschehn, wenn tiefe Löcher sich bereits gebildet haben. Das Verfahren dabei stimmt, soweit die kurze Zwischenzeit dieses gestattet, mit dem vorhin beschriebenen überein. Es kommt hierbei zwar nicht mehr auf die Schonung des Rasens an, weil derselbe bereits fortgeschlagen ist, aber um einigermaafsen die Regelmäfsigkeit der Böschung wieder herzustellen, werden die tiefen Einrisse zunächst mit Erde gefüllt, und solche bedarf einer dichteren Decke, als durch blofses Strauch dargestellt werden kann. Die Unterlage von Stroh oder Rohr ist daher auch in diesem Falle unentbehrlich. Man beginnt die Ausführung der Decke immer in der gröfsten Tiefe, weil der höher belegene Theil noch während der Fluth gemacht werden kann. Die ganze Arbeit, wenn auch wesentlich dieselbe, fällt indessen viel roher und unregelmäfsiger aus, weil es an der nöthigen Zeit gebricht. Aus demselben Grunde kann man auch bei der ersten Instandsetzung nur wenige Zäune beflechten, die jedoch während des nächsten kleinen Wassers vervollständigt werden müssen.

Ist eine Kappstürzung eingetreten, also stellenweise ein Theil der Krone versunken, so läfst sich die Dossirung in der kurzen Zwischenzeit bis zum nächsten Hochwasser nicht wieder herstellen, aber dringend nöthig ist es, die Krone vor dem gänzlichen Durchbruche zu sichern. Dieses geschieht, indem sogleich eine

Pfahlreihe in der Richtung der äufsern Kante der Krone durch den Bruch hindurchgerammt wird. Man verkleidet dieselbe, sobald das Wasser fällt, auf der innern Seite mit Bohlen, und stellt überhaupt ein gewöhnliches Bohlwerk her, das mit Ankern versehn wird, die an Pfähle auf der innern Dossirung gebolzt sind. Gegen das Bohlwerk, das bei der Ausführung wenig dicht zu sein pflegt, packt man lieber Stroh und Mist und selbst Faschinen, als lose Erde, doch mufs man eine starke Lage der letztern aufbringen, um die ganze Masse gehörig zu comprimiren. Aufserdem ist es noch nothwendig, den Fufs des Bohlwerkes auf der äufsern Seite durch eine Risberme oder durch Packwerk zu schützen.

Bemerkt man, dafs am Fufse des Deiches eine grofse Vertiefung eingetreten ist, so genügt die Zwischenzeit gemeinhin nicht, um durch eine Bohlwand die Dossirung zu sichern, auch läfst sich eine solche nicht dichten, da der tiefe Kolk selbst bei der Ebbe mit Wasser gefüllt bleibt. In diesem Falle ist die Ausführung von Packwerken oder Senkstücken das Einzige, was man thun kann.

Wenn endlich die Gefahr so grofs ist, dafs die Erhaltung des Deiches nicht mit Sicherheit erwartet werden kann, so bemüht man sich nur, die Ausdehnung der bevorstehenden Ueberschwemmung möglichst zu beschränken. In vielen Fällen liegen hinter den Hauptdeichen noch ältere, oder sogenannte Schlafdeiche, die man zu diesem Zwecke zu erhalten pflegt. Wenn man auch auf ihre Instandhaltung wenig Sorge verwendet, so pflegt man sie doch nicht abzutragen. Sobald aber der Hauptdeich zu durchbrechen droht, so werden sie schleunigst durch Ausfüllung der Durchfahrten und Gräben, und wo es nöthig ist, noch durch Aufkadung so erhöht, dafs sie das Wasser abhalten können. Dieses gelingt auch meist, in sofern sie wegen des weiten Vorlandes vor dem Wellenschlage geschützt sind, und nur ruhiges Wasser vor ihnen steht.

§. 17.

Schliefsung der Deichbrüche.

Wenn ein Seedeich gebrochen ist, so füllt sich nicht nur der dahinter liegende Polder bis zu derjenigen Höhe mit Wasser an, zu

der die Fluth auf der Aufsenseite ansteigt, sondern nachdem die letztere aufgehört, und die Ebbe begonnen hat, so strömt das eingetretene Wasser wieder aus, und in der nächsten Fluth und Ebbe erfolgt aufs Neue dasselbe Aus- und Einströmen. Wie sehr das früher eingedeichte Land, namentlich in der Nähe des Bruches hierdurch verwüstet und zugleich der tiefe Einrifs im Boden, den die Strömung verfolgt, oder der Kolk vergröfsert und vertieft wird, leuchtet von selbst ein. Die Zerstörungen wiederholen sich nicht nur fortwährend, sondern die jedesmaligen Beschädigungen werden in demselben Maafse gröfser, wie tiefere und weitere Schläuche sich ausgebildet haben, in denen das Wasser mit gröfserer Leichtigkeit hin und her fliefsen kann. Es ist daher dringend geboten, den Deich möglichst bald wieder herzustellen, oder den Bruch zu schliefsen. Die Schwierigkeiten, denen man dabei begegnet, sind aber ohne Vergleich viel gröfser, als bei Deichbrüchen an oberländischen Strömen. Neben diesen werden die Polder, wenn sie sich nicht etwa in grofser Länge zur Seite der Flüsse hinziehn, und also einer anhaltenden Durchströmung ausgesetzt sind, nur einmal mit Wasser gefüllt, das freilich zurückfliefst, sobald der äufsere Wasserstand sich senkt, man hat aber alsdann bis zu dem zu erwartenden nächsten Hochwasser während des Sommers und Herbstes hinreichend Zeit, den Deich vollständig wieder herzustellen. Bei Seedeichen beschränkt sich dagegen die Zwischenzeit auf wenige Stunden, und oft wird die Durchströmung des Bruches gar nicht unterbrochen, indem der hart eingehende Strom plötzlich in einen eben so heftigen ausgehenden umsetzt, und diese Bewegungen dauern auch während der ganzen Zeit fort, in welcher der Deich geschlossen wird. Es ergiebt sich hieraus, dafs man zu ganz andern Mitteln greifen mufs, als wenn es sich nur um die Wiederherstellung eines oberländischen Deiches handelt. Glücklicher Weise sind an der Deutschen Nordsee-Küste die Deiche meist so günstig situirt, dafs Brüche in denselben nur selten vorkommen, nichts desto weniger darf dieser Fall hier doch nicht mit Stillschweigen übergangen werden. In den Niederlanden, wo solche Unglücksfälle sich viel häufiger wiederholen, hat man über die Erfolge der verschiedenen Methoden, die alsdann zur Anwendung kommen, vielfache Erfahrungen gesammelt, und es erscheint daher angemessen, diese mitzutheilen.

Nach einem erfolgten Durchbruche kommt zunächst die Wahl

der Deichlinie oder die Frage in Betracht, ob der neue Deich aufserhalb oder innerhalb des Kolkes ausgeführt, oder vielleicht durch den letzteren hindurch geschüttet werden soll. Geht man auf der äufsern Seite herum, so ist eine Aufschlickung des Kolkes unmöglich, derselbe behält also beständig seine Tiefe und bleibt mit Wasser gefüllt. Wenn man ihn nicht etwa später zuschüttet, so ist die Fläche, die er einnimmt, für immer der Benutzung entzogen. In dieser Beziehung ist es vortheilhafter, den Deich auf der Landseite um den Kolk zu legen. Ein tiefer Kolk an der Binnenseite befördert in hohem Grade das Durchquellen des Wassers, wogegen die grofse Tiefe an der äufsern Seite den Wellenschlag und dessen schädliche Wirkungen verstärkt. Eine ganz besondere Aufmerksamkeit ist aber noch in andrer Beziehung auf den Wellenschlag zu richten. Vortretende Deichecken sind solchem vorzugsweise ausgesetzt und aus diesem Grunde oft kaum zu erhalten, wogegen einspringende Ecken bei gegenstehenden Winden eben so nachtheilig sind, weil die Wellen, wenn sie zwischen den beiderseitigen Deichen wie in eine trichterförmig verengte Bucht einlaufen, sehr bedeutend an Höhe zunehmen, und daher theils eine entsprechende Erhöhung, theils auch eine gröfsere Verstärkung dieses neuen Deiches nothwendig machen. Aus diesen Gründen geschieht es bei Seedeichen viel häufiger, als im Binnenlande, dafs man die frühere Linie beibehält und durch den tiefen Kolk hindurchgeht. Nur wenn die Umstände besonders günstig sind, und ein hohes Vorland den nöthigen Schutz gewährt, führt man den neuen Deich auf der innern Seite des Kolkes herum, und wenn letzterer verlandet ist, so stellt man die frühere günstigere Linie wieder her. Auch sonst entschliefst man sich zuweilen wegen der geringeren Kosten oder um den Schlufs des Deiches möglichst bald darzustellen, zu einem der beiden ersten Auswege und legt den neuen Deich vor oder hinter den Kolk.

Wenn der Durchbruch nicht sowol durch Wellenschlag und Zerstörung der äufsern Dossirung, als vielmehr durch Ueberströmung oder durch Quellungen veranlafst ist, so geschieht es häufig, dafs der äufsere Fufs des Deiches noch erhalten ist und der vortretende Rand desselben nur wenig unter dem gewöhnlichen Hochwasser liegt. In diesem Falle ist die Wiederherstellung nicht schwierig und man pflegt alsdann sogleich auf diesem höchsten Rande durch Aufkarren von Erde einen kleinen Kadedeich aus-

zuführen, dessen Krone bis über die gewöhnlichen Springfluthen heraufreicht. Derselbe wird nur schwach profilirt, da er nur kurze Zeit in Wirksamkeit bleiben soll, man bedeckt ihn auch nicht mit Rasen, sondern sichert ihn nur auswärts durch Strauch, unter dem, wie bereits erwähnt, eine Lage Stroh oder dergleichen ausgebreitet ist. Im Schutze desselben kann nunmehr sogleich die Erdanschüttung beginnen, welche den spätern Deich bilden soll, der in solchem Falle sehr nahe die Richtung des älteren wieder einnimmt.

Indem die Beischaffung der hierzu erforderlichen Erde oft grofse Schwierigkeiten macht, so ist es in vielen Fällen vortheilhaft, statt der mit Dossirungen versehenen kleinen Erddeiche schwache Fangedämme zu erbauen. Leichte Pfähle werden etwa in 3 Fufs Abstand von einander eingestofsen, an den äufsern Seiten mit Gurtungen versehn und diese durch aufgekämmte Zangen gegenseitig verbunden, um das Ausweichen zu verhindern. An den innern Seiten werden alsdann Bohlen gegen die Pfähle gelehnt und der Zwischenraum wird am besten mit guter Thonerde, oder wenn solche nicht zu beschaffen ist, mit Mist oder andern feinen und schweren Stoffen ausgefüllt.

Dieselben Mittel kann man auch anwenden, wenn ein hohes Vorland noch vor dem Durchbruche liegt, in welchem sich keine tiefe Rinne gebildet hat, die bei Fluth und Ebbe einen starken Strom aufnimmt. Man hat alsdann während des niedrigen Wassers hinreichende Zeit, um einen grofsen Theil des Abschlusses darzustellen und das jedesmalige Ende desselben hinreichend zu sichern. Sollten aber vielleicht auch tiefere Einrisse vorkommen, die jedoch keine zusammenhängende Rinne darstellen, also nicht stark durchströmt werden, so lassen sich solche mittelst der beschriebenen Fangedämme gleichfalls durchbauen, wenn diese statt der Bohlen mit leichten Stülpwänden versehn werden und ihre Breite der gröfseren Höhe entspricht.

Dieses Verfahren ist jedoch nur von Erfolg, wenn in der Deichlinie selbst oder im Vorlande ein so hoher Rücken liegt, dafs die Ueberströmung erst gegen das Ende der Fluth beginnt und alsdann auch keine besondere Stärke annimmt, vielmehr nur in einem sanften Ein- und Ausfliefsen des Wassers besteht. Wenn dagegen der Aufsendeich sehr niedrig, oder nur von geringer Breite, oder vielleicht gar nicht vorhanden war, so pflegt der Deich beim Durch-

bruche vollständig zerstört zu werden, indem alsdann eine tiefe Rinne von der Seeseite aus bis zum Binnenlande sich bildet. In dieser tritt bei jeder Fluth und Ebbe eine sehr heftige Strömung ein, welche die Erde, die man etwa zur Darstellung des erwähnten kleinen Deiches hineinschütten wollte, sogleich mit sich reifsen würde. Auch jene Fangedämme haben darin keinen Bestand, wenn man solche noch ausführen könnte. Man mufs alsdann zunächst sich bemühen, die starke Strömung, die abwechselnd in der einen und der andern Richtung eintritt, zu mäfsigen. Dieses geschieht in verschiedener Weise.

Zuweilen genügt hierzu eine Zurücklegung des neuen Deiches, der jedoch alsdann soweit von dem Bruche sich entfernen mufs, bis man eine Stelle erreicht, wo das einstürzende Wasser bereits seine Geschwindigkeit verloren hat. Andrerseits schwächt man den Strom in dem Bruche auch dadurch, dafs man den letzteren künstlich noch erweitert oder die Enden des Deiches abgräbt und hierdurch ein weiteres Durchflufs-Profil bildet. So lange die Oeffnung nämlich sehr klein bleibt, so tritt das ungünstige Verhältnifs ein, dafs gar keine Ausgleichung zwischen dem innern und äufsern Wasserstande erfolgt, also die Strömung niemals sich schwächt oder einige Zeit hindurch ganz aufhört. Während das Wasser auf der Seeseite seine gröfste Höhe erreicht, ist es im Binnenlande noch bedeutend niedriger, die Einströmung dauert also im Anfange der Ebbe noch fort, und beide Wasserstände kommen erst später in dasselbe Niveau, also zu einer Zeit, wo das äufsere Wasser schon sehr stark abfällt, wie sich dieses aus der Form der Fluthwellen ergiebt. Die Folge hiervon ist, dafs nur ein momentaner Stillstand eintritt, und die noch kräftige Einströmung plötzlich in eine sehr starke Ausströmung umsetzt. Auch beim niedrigen Wasser geschieht dasselbe. Der Polder ist noch stark angefüllt, wenn die Ebbe aufhört, er entleert sich daher noch während der ersten Zeit der Fluth, und nur wenn letztere schon sehr stark ansteigt, hört die Ausströmung auf und geht unmittelbar in die Einströmung über. Diese Uebelstände lassen sich vermeiden und man kann sowol beim Hochwasser, als beim Niedrigwasser für kurze Zeit den Strom unterbrechen und mäfsigen, wenn man die Verbindungs-Oeffnung so weit macht, dafs das Binnenwasser übereinstimmend mit dem äufsern steigt und sinkt. Man sieht sich zu diesem eigenthümlichen Verfahren zuweilen schon da-

durch gezwungen, dafs man bei dem ununterbrochenen heftigen Strome gar nicht im Stande ist, die nöthigen Tiefenmessungen vorzunehmen, und sonach die Ausdehnung der Zerstörung, die beseitigt werden soll, gar nicht ermittelt werden kann.

Endlich giebt es noch ein drittes, gewifs sehr sicheres aber auch sehr kostbares und zeitraubendes Verfahren, um die Strömung in dem Bruche, den man durchbauen will, zu mäfsigen. Dieses besteht darin, dafs man den Polder durch schwache Zwischendeiche nach und nach verkleinert. In demselben Maafse, wie die der Inundation ausgesetzte Fläche eine geringere Ausdehnung annimmt, vermindert sich auch die zu ihrer Anfüllung erforderliche Wassermenge. Die Abschlufsdeiche, die man zu diesem Zwecke erbaut, und für welche man ein möglichst günstiges Terrain aussucht, bleiben im Binnenlande und sind daher einem starken Angriffe der Wellen nicht ausgesetzt. Aus diesem Grunde brauchen sie nur leicht zu sein, auch genügt es, sie etwas über die gewöhnlichen Springfluthen zu legen, da vor Eintritt des Winters der Bruch im Hauptdeiche doch jedenfalls geschlossen werden mufs. Die sehr grofse Länge, die sie erhalten müssen, um die entsprechenden Theile des Polders nach und nach abzuschliefsen, macht ihre Ausführung sehr mühsam und kostbar. Als im Jahre 1729 ein Deich neben dem Dorkumer-Diep, das in den Laauwer See ausmündet, gebrochen war, konnte der Bruch nicht früher geschlossen werden, als bis man den inundirten Polder dreimal hinter einander durch Abschlufsdeiche auf eine sehr kleine Fläche reducirt hatte.

Wenn durch die angegebenen Mittel die Strömung auch gemäfsigt wird, so kann dieselbe dadurch doch keineswegs ganz aufgehoben werden, und wenn aufserdem eine tiefe Rinne sich vollständig ausgebildet hat, so ist diese durch Erdschüttungen oder leichte Fangedämme nicht mehr zu schliefsen. Es ist daher am einfachsten, in solchem Falle den sehr schwierigen Schlufs an derjenigen Stelle vorzunehmen, wo man den Deich hinlegen will. Man darf dabei aber Anfangs, und zwar so lange, wie ein kräftiger Strom noch hindurchgeht, weder Erde noch auch andres leichtes Material anwenden, das vom Wasser gelockert und fortgerissen werden könnte. Nur fest verbundene Faschinen, also vorzugsweise Senkstücke sind unter diesen Umständen der Zerstörung nicht ausgesetzt, und wenn solche auch keineswegs einen wasserdichten Schlufs geben, so mufs

man sie doch zur Schliefsung des Kolkes verwenden, weil man keine andre Wahl hat.

Zunächst kommt es darauf an, in den kurzen Zwischenzeiten, wo die Strömung ganz aufhört, oder doch sehr mäfsig wird, das Profil des Durchbruches, welches geschlossen werden soll, möglichst genau zu messen und hiernach die ganze Disposition über den auszuführenden Bau zu treffen, damit letzterer geregelten und möglichst schnellen Fortgang hat, und nicht etwa in Folge eines unvorhergesehenen Mangels an Material unterbrochen werden mufs.

Storm Buysing giebt*) eine ausführliche Beschreibung eines solchen Baues, die wohl am Passendsten zur Darstellung des ganzen Verfahrens in den wesentlichsten Punkten hier mitzutheilen sein dürfte.

Es wird ein specieller Fall vorausgesetzt. Es ist nämlich ein Deich an einem Ufer gebrochen, vor welchem der gewöhnliche Fluthwechsel $12\frac{1}{4}$ Fufs mifst. Der Kolk ist in der Deichlinie unter Niedrigwasser 15 Fufs tief, und in der Höhe des letzteren 460 Fufs breit. Der Deich soll bis $12\frac{3}{4}$ Fufs über das gewöhnliche Hochwasser heraufgeführt werden, eine Kronenbreite von $6\frac{1}{2}$ Fufs, eine Binnendossirung von $1\frac{3}{4}$facher und eine Aufsendossirung von 4facher Anlage erhalten. Aufserdem soll ihm in der Höhe des gewöhnlichen Hochwassers eine Binnenberme von 19 Fufs und eine äufsere Berme von $12\frac{1}{4}$ Fufs Breite gegeben werden. Die äufsere Berme besteht über dem gewöhnlichen Niedrigwasser aus Packwerk, das auf der Deichseite ganz steil, auf der Seeseite aber, wie in den Niederlanden üblich, nur mit $\frac{1}{4}$facher Anlage ausgeführt ist. Die innere Berme dagegen besteht nur zum Theil aus Packwerk, das eben so tief, wie das erste herabreicht, aber 4 Fufs hoch mit Erde überschüttet, auch nicht breiter, als das erste ist, indem sich landwärts eine Erdschüttung von durchschnittlich 11 Fufs Breite dagegen lehnt. Zwischen diesen beiden Prismen aus Packwerk wird der innere Raum von 80 Fufs Breite mit zäher Klaierde angefüllt und derselbe bildet zugleich die Basis des eigentlichen Deiches, dessen Dossirungen theils an den innern Rand des äufsern Packwerks, und theils an die Vertikal-Ebene reichen, welche das innere Packwerk begrenzt.

*) Bouwkundige Leercursus. 1854. I. Seite 659 ff.

Die beiderseitigen Packwerke ruhen nun auf Senkstücklagen, welche die Erdschüttung unter dem Deiche einschliefsen. Die obern Lagen treten indessen an den äufsern Seiten, sowol land- als seewärts etwa 10 Fufs vor den Packwerken vor, und die folgenden bilden in den stufenförmigen Absätzen durchschnittlich Dossirungen von zweifacher Anlage, während sie an den innern Seiten, wo sie die Erdschüttung begrenzen, etwa $1\frac{1}{2}$fache Anlage in ihren Absätzen darstellen. Die beiderseitigen äufsern Böschungen sind jedoch nach der vorliegenden Beschreibung in den verschiedenen Höhen verschieden, indem sie unten etwas flacher und oben etwas steiler gehalten werden sollen. Die Stärke oder Höhe der Lagen wird zu 3 Fufs angegeben. Die untersten Lagen erhalten viel gröfsere Breiten, als sie nach den angegebenen Dossirungen haben würden. Sie treten nämlich so nahe zusammen, dafs nur ein freier Raum von 10 Fufs Breite zwischen ihnen bleibt, um während des Baues die Erdschüttung hier dem Angriffe des Stromes möglichst zu entziehn. Dieser freie Raum liegt senkrecht unter der Deichkrone. Sodann springen die untern Lagen sowol seeseitig, als landseitig 30 Fufs weit vor die nächste Lage vor, indem sie wegen des überstürzenden Wassers als Sturzbette dienen sollen. In dieser Weise erhält die unterste Lage auf der Seeseite eine Breite von 125 Fufs und die auf der Landseite von 105 Fufs. Diese Breiten sind zu grofs, als dafs man sie in einem Senkstücke darstellen könnte, was um so schwerer sein würde, als es von grofser Wichtigkeit ist, sehr wenige Querfugen anzubringen, oder am besten solche ganz zu vermeiden, also die einzelnen Stücke über den ganzen Kolk hinüberreichen zu lassen. Die äufsere Lage soll daher aus drei und die innere aus zwei Tafeln zusammengesetzt sein, die ihrer Länge nach neben einander liegen.

Vor dem Versenken der Stücke bemüht man sich, den Boden durch Anfüllen der tieferen Einsenkungen mit Thon möglichst zu ebenen. Alsdann bindet man die Senkstücke ab, worüber bei Gelegenheit des Hafenbaues ausführlicher die Rede sein wird. Hier wäre nur zu bemerken, dafs die Methoden, die man in den Niederlanden dabei anwendet, viel einfacher, als die unsrigen sind, woher man in weit kürzerer Zeit grofse Stücke darstellen kann. Man baut dieselben auch nicht auf Rüstungen, worauf sie vollständig aufliegen, vielmehr werden sie am Rande des Ufers gepackt und ge-

bunden, und sobald ein Theil fertig ist, so schiebt man denselben ins Wasser, indem man dabei gewöhnlich das Steigen der Fluth benutzt. So kann es geschehn, dafs man die langen Senkstücke in kurzer Zeit vollendet und versenkt. Dieselben werden jedesmal durch verschiedene Taue in der richtigen Lage gehalten und indem sie bei der geringen Dicke nur einen kleinen Theil des Profiles sperren, so sind sie keinem übermäfsigen Andrange des Wassers ausgesetzt. Die Versenkung erfolgt jedesmal, wenn die Strömung aufgehört hat.

Die Zwischenräume zwischen den beiderseitigen Senkstücklagen werden mit guter Erde gefüllt und die auf beiden Seiten stufenförmig vortretenden Enden der Senkstücke mit Bauschutt bedeckt, so dafs sich hier die beabsichtigten Dossirungen bilden. Die untern Senkstücklagen steigen auf den beiderseitigen Ufern an, alle folgenden werden horizontal aufgebracht. Sie bilden die Unterlagen der bereits erwähnten prismatischen Packwerke, welche die Erdschüttung einschliefsen, die man auch sogleich aufbringt. Letztere mufs aber, sobald sie beim kleinsten Wasser sichtbar wird, durch Ueberdeckung mit Strauch gegen den Angriff des Stromes geschützt werden, und diese Decke ist jedesmal zu beseitigen, so oft eine neue Schüttung darüber kommt. Aufserdem ist dafür zu sorgen, dafs die jedesmalige Oberfläche nach der Seeseite leicht entwässert. Zu diesem Zwecke wird das landseitige Packwerk immer einige Fufs höher gehalten, als das gegenüber liegende, und die Erdschüttung ist in gleicher Weise geneigt, so dafs sie sich an beide anschliefst. Man pflegt auch das seeseitige Packwerk so niedrig zu lassen, dafs bei jedem Hochwasser die Fahrzeuge, die Erde anbringen, darüber gehn können. Es wird alsdann in voller Höhe erst dargestellt, wenn der gröfste Theil des Deiches bereits geschüttet ist.

Sobald endlich das landseitige Packwerk bis 3 oder 4 Fufs unter gewöhnliches Hochwasser aufgeführt ist und die Erdschüttung daneben dieselbe Höhe hat, so wird der vollständige Abschlufs des Wassers durch einen leichten Schlufsdamm bewirkt. Letzterer ruht auf der Erdschüttung und lehnt sich mit seiner landseitigen Dossirung gegen das innere Packwerk. Seine Krone von 4 Fufs Breite ragt etwas über gewöhnliche Springfluthen hervor. Seine beiderseitigen Böschungen erhalten nur einfache Anlage. Obwohl es immer sehr wünschenswerth ist, diesen Abschlufs möglichst bald

zu machen, weil der Polder nicht früher trocken gelegt werden kann und das Fluthwasser darin ihn dauernd bis zur Krone des Packwerkes anfüllt, so darf man dennoch diese wichtige Arbeit nicht zu früh und nicht bei ungünstiger Witterung vornehmen. Die Erdschüttung darunter mufs hinreichende Zeit gehabt haben, sich genügend zu setzen, indem man aber die lose Erde aufbringt, mufs das Wasser abgesehn von der Strömung ganz ruhig sein und darf nicht Wellen schlagen. Man wartet daher stilles Wetter und das Eintreten von Landwind ab, während Alles vorbereitet wird, um den Schlufs möglichst schnell fertig stellen zu können. Sollte gegen Erwarten während der Schüttung dieses Dammes eine besonders hohe Fluth oder ein starker Seewind eintreten, so wird die aufgebrachte Erde fortgespült und die Arbeit mufs später aufs Neue gemacht werden.

Ist dieser Damm zum Schlusse gebracht, so hat auch die Ueberströmung aufgehört, und die Ausführung des eigentlichen Deiches in gewöhnlicher Weise bietet keine weitere Schwierigkeit mehr. Die erforderliche Erde wird immer von der Seeseite aus angefahren, indem man sie von hohen Aufsendeichen entnimmt, wenn dieselben auch in einiger Entfernung liegen. Damit nun die Fahrzeuge, worin sie angefahren wird, immer möglichst nahe und bequem anlegen und bei Schüttung des kleinen Schlufsdeiches selbst bis an diesen gelangen können, so wird das äufsere Packwerk erst später bis zur vollen Fluthhöhe heraufgeführt.

Dafs bei solchem Deiche noch ein bedeutendes Sacken eintritt, bedarf kaum der Erwähnung und man mufs deshalb gleich Anfangs alle Theile in gröfserer Höhe ausführen, als sie später haben sollen. Sehr grofse Vorsicht mufs aber darauf verwendet werden, dafs bei den starken Durchquellungen nicht grofse Erdmassen aus dem Innern abgeführt werden. In dieser Beziehung ist es besonders wichtig, dafs die Stöfse zwischen den Senkstücken nicht zusammentreffen, vielmehr in den einzelnen Lagen gehörig abwechseln, wenn man sie nicht, wie bereits erwähnt, ganz vermeiden kann. Jedenfalls mufs aber auch jede nächste Lage sowol die Lang- als die Querfugen der darunter befindlichen überdecken. Dieser Vorsicht unerachtet zeigt sich ein solcher Deich doch immer als ziemlich undicht und am meisten wird das Durchquellen des Wassers noch durch den Erdkern im Innern des Deiches verhindert, der sich von der Sohle des Kolkes bis zur Krone heraufzieht. Es mufs daher

grofse Sorgfalt darauf verwendet werden, dafs dieser nur aus fester und dicht gelagerter Erde besteht.

Es wäre noch zu erwähnen, dafs man hinter sehr bedrohten Deichstrecken zuweilen noch Binnendeiche ausführt, um im Falle eines Durchbruches nicht gar zu grofse Landflächen der Inundation Preis zu geben und um zugleich die ein- und ausgehende Strömung möglichst zu mäfsigen. Man erreicht hierdurch zunächst den grofsen Vortheil, dafs der Bruch weniger erheblich wird, weil im Verhältnisse zu der überströmten Fläche weniger Wasser hindurchfliefst, und aufserdem wird es hierdurch auch leichter, wie bereits erwähnt, den Bruch bald wieder zu schliefsen. Diese Rückdeiche (Inlaagdijken) pflegen etwa 100 Ruthen hinter den Hauptdeichen zu liegen. Sie brauchen nur schwach profilirt zu sein, da sie beim Brechen des Hauptdeiches keinem erheblichen Wellenschlage ausgesetzt sind, für ihre gehörige Unterhaltung mufs aber immer Sorge getragen werden. In manchen Fällen ist mit Sicherheit vorauszusehn, dafs der äufsere Deich für die Dauer nicht gehalten werden kann, dafs also ein solcher Rückdeich einst Hauptdeich werden mufs. In diesem Falle empfiehlt es sich, demselben wenn auch nicht die volle Kronenhöhe und Kronenbreite, doch wenigstens diejenige flache äufsere Böschung zu geben, die er später haben mufs. Wenn die Anlagekosten sich dadurch auch wesentlich vergröfsern, so tritt dabei doch der Vortheil ein, dafs, so lange der Deich nicht in Wirksamkeit kommt, diese Böschung als Weide beinahe denselben Ertrag giebt, wie der frühere horizontale Boden unter ihr, während eine steile Böschung nur wenig benutzt werden kann und weit gröfsere Aufmerksamkeit in der Unterhaltung erfordert.

In den Niederlanden sind Anlagen dieser Art wiederholentlich ausgeführt. So bildet der aus reinem Seesande bestehende und unmittelbar an der Nordsee belegene Deich bei Petten, die Hondbosche Zeeweering genannt, alles Uferschutzes ohnerachtet, wovon später die Rede sein wird, dennoch keine hinreichende Sicherheit für den dahinter liegenden sehr ausgedehnten und fruchtbaren Polder Zijpe. Bei einem Durchbruche dieses Deiches würde indessen der vielfach durchschnittene alte Westfriesische Deich, der den genannten Polder im Süden begrenzt, auch kaum zu halten sein, und die Ueberschwemmung würde sich alsdann über einen grofsen Theil von Nordholland ausdehnen. Aus diesem Grunde ist im Innern des Polders

ohnfern der Dünen noch ein sogenannter Seedeich ausgeführt und durch verschiedene Anschlüsse mit den Dünen verbunden. Wenn daher der Sanddeich einst durchbrechen sollte, so würde jedesmal nur ein kleiner Theil des Binnenlandes unter Wasser gesetzt werden.

In ähnlicher Weise ist ohnfern Delft hinter der schwachen, gleichfalls durch Uferbauten gesicherten, Dünenkette, von dem Maasdeiche nordwärts abgehend bis jenseits Terheyde ein Binnendeich ausgeführt, während bei Loosduinen ein andrer kürzerer sich befindet. Beide haben nur den Zweck, dafs sie bei einem möglichen Durchbruche der Dünen das dahinter liegende Land sichern.

In der Provinz Friesland, die besonders tief liegt, sind aus demselben Grunde verschiedene und zum Theil sehr lange Binnendeiche erbaut worden. Dieselben haben sich bereits bewährt. Als nämlich bei der sehr hohen Sturmfluth am 4. und 5. Februar 1825 der Hauptdeich an dreifsig Stellen durchbrach, hielten sie dennoch von verschiedenen Theilen der Niederung das Wasser ab.

§. 18.

Siele.

Die eingedeichten Niederungen neben dem Meere müssen eben so, wie diejenigen, welche an den oberen Stromtheilen liegen, mit den nöthigen Vorrichtungen zur Entwässerung versehn sein. Ueber die Anordnung der Gräben im Innern ist nichts zu erwähnen, dagegen zeigen die Entwässerungs-Schleusen oder Siele manche Eigenthümlichkeiten.

Die Marschen, von denen hier die Rede ist, liegen jederzeit an Meeren, an Strömen oder an Busen, welche einem gröfsern oder kleineren, aber doch immer einem merklichen Fluthwechsel unterworfen sind. Die Auswässerung ist um so stärker, je gröfser das Gefälle oder je tiefer das äufsere Wasser gesunken ist. Häufig genügt indessen selbst das gröfste Gefälle, das sich beim Fluthwechsel bildet, nur nothdürftig, um die Auswässerung so zu beschleunigen und so vollständig zu bewirken, wie die landwirthschaftlichen Verhältnisse dieses fordern. Dieses ist fast bei allen Marschen im ersten Frühjahre oder nach anhaltendem Regen der Fall. Oft liegen

die eingedeichten Flächen auch so niedrig, dafs sie beinahe das ganze Jahr hindurch einer kräftigen Auswässerung bedürfen, weil sie zugleich einem starken Eindringen des Grund- oder Quellwassers unterworfen sind. Während jeder Fluth wird die Ausströmung vollständig unterbrochen, indem alsdann nicht nur das Gefälle ganz aufgehoben wird, sondern ein solches sich sogar in entgegengesetzter Richtung bilden würde, wenn die Schleuse geöffnet bliebe. Aus diesem Grunde mufs letztere in kurzen Zwischenzeiten, nämlich in Perioden von etwas über 12 Stunden geöffnet und geschlossen werden. Die Entwässerung fordert aber die möglichste Aufmerksamkeit in der Handhabung der Schütze oder sonstigen Vorrichtungen, damit weder der Abflufs verzögert wird, noch auch die Schleuse so lange offen bleibt, dafs das Meerwasser in den Polder einströmt. Dabei kommt auch noch der Umstand in Betracht, dafs dieser Dienst sich keineswegs auf die Tagesstunden beschränkt, sondern häufig mitten in der Nacht versehn werden mufs, und bei der ungünstigsten Witterung die gröfste Sorgfalt erfordert. Das Ziehn der Schütze wäre sonach bei den Entwässerungs-Schleusen am Meere überaus beschwerlich, und ob es stets regelmäfsig ausgeführt wird, liefse sich kaum controliren, namentlich da viele dieser Schleusen an abgelegenen Orten sich befinden.

Aus diesem Grunde pflegt man solche Vorrichtungen zum Schliefsen der Oeffnungen zu wählen, die von selbst und zwar durch den wechselnden Wasserstand auf der äufsern Seite in Thätigkeit gesetzt werden. Die gewöhnlichste unter diesen Vorrichtungen besteht in Stemmthoren, die nach der Seeseite aufschlagen. Sobald bei der Ebbe der äufsere Wasserstand bis unter den innern herabgesunken ist, so werden die Thore von selbst durch den Druck geöffnet, und die Auswässerung beginnt. Dieselbe dauert so lange, bis während der Fluth das äufsere Wasser etwas über das innere gestiegen ist. Alsdann tritt eine entgegengesetzte Strömung ein, und wenn die Thore nicht ganz zurückgeschlagen waren, was man durch besondere Vorkehrungen verhindern mufs, so werden sie von dem eingehenden Strome gefafst und geschlossen. Das äufsere Wasser kann alsdann nicht mehr ins Binnenland eindringen, wenn die Fluth auch zu grofser Höhe ansteigt.

Eine andre eigenthümliche Anordnung dieser Schleusen wird durch den Wellenschlag veranlafst, dem sie ausgesetzt sind. Man pflegt

zwar, in sofern jede Schleuse unbedingt eine schwache Stelle im Deiche bildet, sie immer so zu legen, dafs sie möglichst geschützt ist, und von den heftigsten Wellen nicht getroffen wird, doch läfst sich diese Vorsicht selten so weit ausdehnen, dafs die Gefahr wirklich unter allen Umständen verschwindet, und oft bietet die Richtung und Lage des Deiches, wenn man ihn nicht in andrer Beziehung gefährden und etwa mit vorspringenden Ecken versehn will, keine gesicherte Stellung der Schleuse. Sobald ein heftiger Wellenschlag eintritt, so wirkt derselbe immer am zerstörendsten, wo die Regelmäfsigkeit der Fläche unterbrochen wird, und dieses läfst sich im Anschlusse der Erdböschung an die Mauern oder Bohlwände, welche die Seiten-Einfassung der Schleuse bilden, nicht vermeiden. Man müfste also immer besorgen, dafs neben der Schleuse die Erde ausgespült würde, und indem mit der zunehmenden Unregelmäfsigkeit der Böschung auch der Angriff gegen solche Stelle sich verstärkt, so wäre die Gefahr eines Deichbruches hier besonders grofs. Man würde allerdings durch Bedeckung der Dossirung mit Steinen diese Gefahr bedeutend vermindern können, aber abgesehn von den grofsen Kosten der Anlage und Unterhaltung solcher Deckung, verdient doch immer die gleichmäfsige Durchführung der Erdböschung den Vorzug.

Hierzu kommt noch, dafs bei der an den obern Strömen üblichen Anordnung der Entwässerungs-Schleusen, die einen offenen Canal darstellen, die Thore bis zur Krone des Deiches reichen müssen, wodurch sie eines Theils sehr schwer und deshalb weniger beweglich werden, andern Theils aber auch ein Werfen und Verziehn in ihrer ganzen Verbindung leicht veranlafst werden kann, wodurch der genaue und scharfe Schlufs verschwindet. Mit Rücksicht auf beide erwähnte Umstände wird die Schleuse überdeckt, und bildet eine Art von Durchlafs, wie solche bei Strafsendämmen vorkommen. Ist die Schleuse massiv, so besteht diese Decke aus einem Gewölbe, beim Holzbau dagegen aus hinreichend starken Balken oder Bohlen. Ueber ihr liegt der Erddeich, und sonach setzt sich der obere Theil des Deiches ununterbrochen über die Schleuse fort. Bei niedrigem Wasser und gewöhnlichen Fluthen zeigt sich auch bei dieser Einrichtung jene erwähnte Ungleichmäfsigkeit in der äufsern Fläche des Deiches, aber alsdann ist wegen der Höhe des Vorlandes der Wellenschlag selbst beim Sturme noch nicht

besonders zu fürchten. Anders verhält es sich bei den höchsten Wasserständen, wobei der Wellenschlag den Deich in der Nähe der Krone am stärksten angreift und hier ist durch diese Einrichtung jede Ungleichmäfsigkeit verschwunden.

Solche überdeckte und mit Stemmthoren versehene Entwässerungs-Schleusen, die mit seltenen Ausnahmen in den Seedeichen allgemein üblich sind, nennt man Siele. Dieselbe Benennung giebt man freilich zuweilen auch den Schleusen in den Deichen andrer Ströme und namentlich wenn sie mit Stemmthoren versehn sind; letzteres kommt jedoch nur selten vor, und ist nicht zu empfehlen, da der Wasserwechsel hier nur in langen Perioden eintritt, also das Oeffnen und Schliefsen der Schütze sehr sicher durch die Wärter ausgeführt werden kann. Siele sind daher im Allgemeinen nur bei den Seedeichen im Gebrauche.

Bei Anordnung der Siele kommen verschiedene Umstände in Betracht, und zunächst ist die Stelle, wo ein solches erbaut werden soll, mit Vorsicht auszuwählen. Eine Rücksicht, welche für die Entwässerungs-Schleusen an den obern Stromtheilen von besonderer Bedeutung ist, dafs dieselben nämlich an den untern Enden der Deiche liegen müssen, kommt bei den Sielen in eigentlichen Seedeichen nicht in Betracht, weil vor diesen das Wasser gleich tief zu ebben pflegt, wenn sie auch eine grofse Ausdehnung haben. Dagegen ist bei Seedeichen, die sich auf grofse Länge zur Seite eines Stromes hinziehn, dieselbe Rücksicht allerdings zu beachten, weil der Wasserstand am Ende der Ebbe um so tiefer ist, also die Entwässerung um so vollständiger erfolgt, je näher die Stelle an der offenen See liegt. Gewöhnlich wird dieser Unterschied jedoch so geringfügig, dafs man ihn unbeachtet lassen darf, und sonach die Wahl der Baustelle nur von andern Rücksichten abhängt.

Vorzugsweise kommt es darauf an, das Siel, das jedesmal eine schwache Stelle im Deiche bildet, vor dem stärksten Wellenschlage und dem Angriffe des Stromes und Eises möglichst zu sichern. In dieser Beziehung wird man die Baustelle, so viel geschehn kann, in eine Deichstrecke zu verlegen suchen, die den heftigsten Winden weniger ausgesetzt, oder durch davor liegende Inseln und vorspringende Ufer gegen einen starken Seegang geschützt ist; so wie man auch vermeiden mufs, sie in eine Deich-Concave zu legen, wenn sich längs derselben ein starker Strom hinzieht, oder besonders

heftiger Andrang des Eises daselbst zu besorgen ist. In beiden Beziehungen ist es vorzugsweise wichtig, das Siel im Schutze eines breiten und hohen Vorlandes zu erbauen.

Die letzte Rücksicht ist oft mit einer andern unvereinbar, welche eben so wichtig ist. Das Siel mufs nämlich durch eine hinreichend weite und tiefe Rinne, oder durch das sogenannte Sieltief mit dem eigentlichen Stromschlauche oder mit der offenen See in Verbindung bleiben. Ist dieses Tief sehr lang und dabei enge, gekrümmt und flach, wie oft geschieht, so bildet sich darin zur Zeit des niedrigen Wassers, also während die Auswässerung erfolgt, schon ein starkes Gefälle, oder der Wasserstand unmittelbar vor dem Siele bleibt merklich höher, als der des offenen Stromes oder des Meeres. Die Entwässerung der eingedeichten Niederung kann alsdann nicht so schnell und so vollständig erfolgen, als wenn das Sieltief von den erwähnten Mängeln frei wäre. Diese Mängel sind aber immer um so auffallender, je breiter und höher das Vorland ist.

In vielen Fällen ist die Baustelle für das Siel schon sehr bestimmt gegeben. Wenn nämlich der Groden, den man neu eindeichen will, vor andern Niederungen liegt, die durch ihn entwässern, oder vielleicht sogar noch aus weiter Entfernung das Regenwasser hier abgeführt werden mufs, so hat sich das Sieltief nach den früheren Verhältnissen vollständig ausgebildet, und wenn man das neue Siel von diesem weit entfernen wollte, so müfste man nicht nur einen ganz neuen Entwässerungsgraben auf der Binnenseite, sondern auch ein neues Sieltief auf der äufsern Seite darstellen. Die Kosten dafür würden die ganze Anlage wesentlich vertheuern, und dazu käme noch der Uebelstand, dafs der innerhalb des neuen Deiches belegene Theil des alten Sieltiefes eine Schlenke bilden würde, die keinen Ertrag gäbe. Man ist daher fast jedesmal gezwungen, das neue Siel in das alte Sieltief selbst, oder doch nur wenig seitwärts zu verlegen. Das letzte geschieht oft nur, um während des Baues die Auswässerung nicht zu unterbrechen.

Die Beschaffenheit des Grundes ist ferner bei der Wahl der Baustelle noch vorzugsweise zu berücksichtigen. Das Gewicht des Sieles ist an sich nicht bedeutend, und bei der Ueberschüttung mit Erde wird es auch nicht gröfser, als das einer gleich langen Deichstrecke. Das Setzen des Untergrundes ist dabei aber sehr nachtheilig, und zwar eben sowol, wenn das Siel selbst daran Theil

nimmt, als wenn es hieran verhindert wird. Giebt man dem Siele eine feste Fundirung, oder stellt man es auf einen Pfahlrost, so ist es zwar an sich vor dem Einsinken gesichert, aber die Deichanschlüsse zu beiden Seiten senken sich über dem losen Grunde, so weit sie auf solchen treffen, und es bilden sich zwischen ihnen und dem Deiche, der auf dem Siele ruht, sehr merkliche Fugen, die von der äufsern Böschung bis zur innern hindurchreichen. Auf diese Art entstehn beim Hochwasser starke Quellen, die, wenn sie lange wirksam sind, immer kräftiger werden und endlich den Durchbruch veranlassen können.

Wenn dagegen das Siel nicht sicher gegründet ist, also flach auf dem Boden liegt, und mit dem Deiche sich gleichmäfsig senkt, so findet eine solche Trennung im Deichkörper zwar nicht statt, aber dagegen ist die Senkung des Sieles nicht überall gleich grofs, vielmehr unter der Krone des Deiches am stärksten, und an beiden Enden am geringsten, oder sie verschwindet hier ganz. Das Siel nimmt also nach der Längenrichtung eine gekrümmte Form an, und sein Verband löst sich. Bei gewissen Holz-Constructionen kann man diese Durchbiegung theils mäfsigen, indem man den Seitenwänden grofse Steifigkeit giebt, theils auch sie unschädlich machen, indem man die Trennung der Verbandstücke hindert. Solche Anordnung ist auf losem Untergrunde mehrfach mit Erfolg versucht worden, doch ist jedenfalls ein fester Baugrund bei Weitem vorzuziehn.

Endlich ist bei der Wahl der Baustelle auch darauf zu achten, dafs das Sieltief nicht der Gefahr einer zu schnellen Verlandung ausgesetzt sein darf. In demselben findet nur während der letzten Ebbe und der ersten Fluth einige Strömung statt, nämlich so lange das Siel geöffnet ist. Die erdigen Theilchen, welche die Fluth herbeiführt, schlagen demnach in grofser Masse in dem Sieltief nieder, und dasselbe verliert in kurzer Zeit die Tiefe, die man ihm künstlich gegeben hatte. Dazu kommt noch die Wirkung des Wellenschlages, der namentlich bei dem Uebergange über ein unbenarbtes und weiches Watt die Oberfläche desselben ausgleicht, und die Erhöhungen und Vertiefungen darin sehr bald beseitigt. In der Nähe des Sieles ist dieses zwar zu verhindern, indem man das Tief mit Packwerk einfafst, auch bleibt die Strömung daselbst noch so wirksam, dafs sie die Verschlammung, die während der Fluth eingetreten

ist, bald wieder beseitigt. In weitern Abständen sind aber die Einfassungen schwer zu erhalten, und die Ausströmung wird immer weniger wirksam, so dafs beim niedrigsten Wasserstande häufig nur ganz flache Rillen auf dem Watte zu bemerken sind, durch welche das Binnenwasser mit starkem Gefälle abfliefst. Die Eigenthümlichkeit des strömenden Wassers, jede Krümmung in seinem Bette nach und nach zu verstärken, verbunden mit den Wirkungen der Fluth- und Ebbe-Strömungen, die vor dem Ufer vorbeiziehn, vergröfsern noch diese Unregelmäfsigkeiten, und so geschieht es, dafs die Auswässerung meist nicht so weit ausgedehnt werden kann, als dieses möglich wäre, wenn die Sieltiefe gehörig geöffnet blieben. In vielen Fällen ist dieser Umstand nicht als nachtheilig zu betrachten, weil die Polder so hoch liegen, dafs eine noch tiefere Senkung des Wasserstandes in den Gräben kein Bedürfnifs ist, und selbst der Cultur schaden würde. Bei anhaltender Dürre mufs man sogar oft die weitere Auswässerung unterbrechen, woher die Siele fast jedesmal noch mit besondern Vorrichtungen an der innern Seite versehn sind, um die Ausströmung des Binnenwassers, so oft es nöthig ist, zu verhindern.

Häufig mufs man dagegen noch einen andern Umstand berücksichtigen, der ein möglichst gerades und zugleich hinreichend tiefes Sieltief fordert. Dieses ist die Schiffahrt. Die Siele dienen nämlich in manchen Fällen auch zum Durchgange kleiner Seeschiffe, und sind alsdann entweder wie Kammerschleusen eingerichtet, oder, wie meist geschieht, der Durchgang der Schiffe findet nur in der Zeit statt, wenn die Thore bereits geöffnet sind. Die von beiden Seiten ankommenden Schiffe müssen daher geräumige und hinreichend sichere Liegeplätze finden, in welchen sie diesen Zeitpunkt abwarten können. Kommt das Schiff aus der See, so ist es gemeinhin sehr schwer, während der Ebbe, also während das Wasser noch höher ist, das Sieltief zu durchsegeln, weil alsdann die Strömung ihm entgegenkommt. Während der ersten Fluth dagegen ist zwar die Strömung günstig, aber es fehlt alsdann der hinreichende Wasserstand im Tiefe, wenn dieses nicht gehörig offen erhalten ist. Dieser Umstand verursacht oft einen langen Aufenthalt der Schiffe vor dem Siele, bevor sie dasselbe durchfahren können, und da nicht leicht ein gehöriger Hafen daneben eingerichtet ist, so müssen sie im offenen Wasser und zwischen den Wattgründen liegen blei-

ben, wo sie bei unruhiger Witterung manchen Gefahren ausgesetzt sind.

Das Mittel, welches man vielfach anwendet, um Sieltiefe periodisch zu räumen, ist dasselbe, das zu gleichem Zwecke auch bei binnenländischen Strömen benutzt wird, nämlich der Sielpflug, der bereits im zweiten Theile dieses Handbuches (§. 91) ausführlich beschrieben ist. Er dient zum Aufkratzen und Fortschieben des noch weichen Schlammes, während der Druck des aus dem Siele strömenden Wassers ihn in Bewegung setzt.

Die meisten Siele, wenn sie auch zum Durchgange kleiner Seeschiffe dienen, sind überdeckt, woher die Maste niedergelegt werden müssen. Der Entwässerungsgraben auf der Binnenseite bildet zugleich den Schiffahrts-Canal, und unmittelbar neben dem Siele pflegt er zu einem weiten Busen verbreitet zu sein. In demselben liegen die ankommenden Schiffe, bis sie durchgehn können. Diese Verbreitung hat noch für die Entwässerung den wesentlichen Nutzen, dafs eine grofse Wassermenge sich darin ansammelt, die beim Aufgehn der Thore sogleich abfliefst und wegen der geringen Entfernung vom Siele keines starken Gefälles bedarf. Sobald dagegen die Thore sich schliefsen, und die Auswässerung aufhört, so dauert dennoch der Zufluſs in diese Bassins aus den weiter zurückliegenden Gräben längere Zeit hindurch fort, bis endlich überall ein gleicher Wasserspiegel eingetreten ist. Dieser Umstand ist von besonderer Bedeutung und befördert wesentlich die Auswässerung, wenn die Dauer der Wirksamkeit des Sieles sehr beschränkt ist.

Die Sohle des Sieles oder die Schlagschwelle muſs, wie gewöhnlich als Regel angenommen wird, unter dem niedrigsten äufsern Wasserstande liegen, weil sonst die Auswässerung erschwert, auch zu Zeiten ganz behindert werden könnte. Je tiefer sie gesenkt wird, um so gröfser ist der Querschnitt der hindurchströmenden Wassermenge, und um so gröfser wird zugleich bei demselben Gefälle ihre Geschwindigkeit. Es verstärkt sich also hierdurch der Abfluſs oder die Wirksamkeit des Sieles in doppelter Beziehung. Nichts desto weniger können Polder, welche recht hoch liegen, auch ohne die angegebene Senkung des Sieles vollständig entwässert werden, während andrerseits die tiefe Lage des Sielbodens wenig nützt, wenn der äufsere Abfluſsgraben oder das Sieltief hoch verlandet ist, und dadurch das Sinken des Wasserstandes doch

verhindert wird. Die Anlage eines Sieles wird aber sehr erschwert und vertheuert, wenn dessen Boden einige Fufs tiefer gelegt werden soll, als nothwendig ist, und hierzu kommt noch, dafs derselbe alsdann sowie auch die Thorkammer einer starken Verschlammung ausgesetzt ist, und in kurzen Zwischenzeiten immer gereinigt werden mufs. Aus diesem Grunde scheint es angemessener, in jedem einzelnen Falle die Höhenlage des Bodens nach dem Bedürfnisse und den localen Verhältnissen zu bestimmen, als dabei einer allgemeinen Regel zu folgen. Es mufs jedoch bemerkt werden, dafs man namentlich in den Niederlanden viele Beispiele findet, in welchen die Siele wegen ihrer zu hohen Lage die Auswässerung wesentlich hindern. Wenn endlich ein Siel zum Durchgange von Schiffen bestimmt ist, so mufs gemeinhin die Schlagschwelle noch tiefer, als nach jener Regel, gesenkt werden. Alsdann tritt nämlich die Bedingung ein, dafs bei dem kleinsten Binnenwasser sich noch die nöthige Schiffahrtstiefe über dieser Schwelle darstellen mufs.

Die Höhe des Sieles pflegt man in der Art zu bestimmen, dafs die Decke oder die Anfänge des Gewölbes vom höchsten Binnenwasser noch nicht erreicht werden. Wenn Schiffe hindurchgehn sollen, so mufs die Decke oder das Gewölbe noch so weit gehoben werden, dafs der nöthige Zwischenraum für die Schiffe, und zwar beim höchsten Binnenwasser sich darstellt.

Insofern nach diesen Erörterungen die Höhenlage der Sohle und der Decke eines Sieles von der Ausdehnung der Fläche, die durch dasselbe entwässert wird, beinahe ganz unabhängig ist, so mufs derjenige Querschnitt der Oeffnung, der zur Abführung des Binnenwassers erforderlich ist, vorzugsweise durch angemefsne Verbreitung des Sieles dargestellt werden. Die hierbei anzustellende Untersuchung stimmt sehr nahe mit derjenigen überein, die zur Bestimmung der Dimensionen der Entwässerungs-Gräben gewöhnlicher Flufsniederungen dient (Theil I dieses Handbuches §. 28), doch wird die Rechnung in sofern schwieriger, als das Gefälle nicht constant ist, vielmehr wegen der Fluth und Ebbe sich fortwährend ändert. Demnächst mufs dabei auch auf das Gefälle im Sieltiefe zur Zeit des niedrigsten Wassers Rücksicht genommen werden.

Man pflegt die Bedingung zu stellen, dafs der stärkste tägliche Niederschlag in zwei Auswässerungen abgeführt werden mufs. Je höher die Niederungen sind, um so leichter ist diese Bedingung zu

erfüllen, aber um so weniger ist sie auch maafsgebend, da niemals mehrere Tage hinter einander der Niederschlag seine äufserste Grenze erreicht, oder auch nur derselben nahe kommt. Es ist aber meist ohne Nachtheil, wenn nach starkem Regen das Grundwasser etwas steigt und die Gräben für kurze Zeit um einige Zolle sich höher anfüllen. Aus diesem Grunde bestimmt sich die Weite der Siele vorzugsweise nach dem Bedürfnisse der Auswässerung im ersten Frühjahre. Da jedoch in der Nähe der See der Frost nicht so stark, auch nicht so anhaltend zu sein pflegt, als im Binnenlande, so erfolgt das Schmelzen grofser Schneemassen nicht so plötzlich, vielmehr thauen dieselben sehr bald nachdem sie gefallen sind auf, und das Wasser wird grofsentheils schon während des Winters abgeführt. Hiernach darf angenommen werden, dafs in den hoch belegenen Seemarschen die Entwässerungs-Anlagen nicht so kräftig zu sein brauchen, als in Poldern von gleicher Gröfse an oberländischen Strömen. Wenn dagegen die Marsch sehr niedrig ist, und sonach auch durch Quellwasser gefüllt wird, so mufs für eine viel kräftigere Auswässerung gesorgt werden.

Hunrichs*) hat versucht, aus Erfahrungen das Verhältnifs der Durchfluſs-Oeffnung des Sieles zu der Gröfse des Polders festzustellen. Er ist dabei zu dem Resultate gekommen, dafs in der Regel für 50 Jück oder 3 Millionen Quadratfufs Land 1 Quadratfufs Durchfluſs-Oeffnung im Siele genügt. Hiernach würde eine Fläche von 115 Preufsischen Morgen nur 1 Quadratfufs Siel-Oeffnung bedürfen. Diese Regel soll aber nur für Niederungen gelten, die wenigstens 5 bis 6 Fufs über dem gewöhnlichen Niedrig-Wasser liegen.

Tetens**) tadelt mit Recht den Versuch, eine solche allgemeine Regel aufstellen zu wollen, da doch die Verhältnisse in jedem Falle verschieden sind, und wesentliche Abweichungen bedingen. Brahms hatte in dieser Beziehung einen viel richtigeren Weg eingeschlagen, indem er die jedesmaligen localen Verhältnisse berücksichtigen wollte. Der damalige Zustand der Wissenschaft gestattete jedoch nicht, diesen Weg strenge zu verfolgen, und auch heutiges Tages bietet derselbe grofse Schwierigkeiten, weil es nicht leicht ist, alle erforder-

*) Practische Anleitung zum Deich-, Siel- und Schlengenbau. Bremen 1770. Theil I. Seite 269.

**) Reisen in die Marschländer der Nordsee. Leipzig 1788. Seite 279.

lichen Data zu sammeln, die zum Theil sich vorher nicht bestimmen lassen und von manchen Zufälligkeiten abhängig sind. Nichts desto weniger dürften die so gefundenen Resultate doch zuverläfsiger sein, als die aus ganz verschiedenartigen Erfahrungen hergeleiteten Regeln.

Storm-Buysing*) ist Hunrichs gefolgt und hat für die Niederländischen Marschen, die meist sehr tief liegen, und sonach nur während kurzer Zeit abwässern, gefunden, dafs die gröfseren Siele auf je 1000 Bunders eingedeichte Fläche 2 bis 4 Ellen oder Meter weit sind. Nach unseren Maafsen kommt also auf je 100 Morgen eine lichte Weite von $1\frac{1}{2}$ bis 3 Fufs. Der Sielboden soll dabei in der Höhe des gewöhnlichen niedrigen Wassers liegen. Bei kleineren Poldern giebt man dagegen den Sielen beträchtlichere Weiten und dieses zum Theil schon deshalb, weil die übliche Construction sich auf sehr kleine Dimensionen nicht anwenden läfst.

Ist das Siel zugleich für den Durchgang von Schiffen bestimmt, so mufs die Weite der Breite der letzteren entsprechen. In keinem Falle darf diese Weite aber das Maafs von 18 Fufs übersteigen, weil sonst die Ueberdeckung nicht mehr die nöthige Sicherheit bieten würde. Auch bei massiven Sielen müfste das Gewölbe wegen der alsdann erforderlichen Pfeilhöhe desselben sich schon so hoch erheben, dafs der Deich darüber gar zu niedrig, also zu schwach ausfallen würde. Sobald die Schiffahrt eine gröfsere Weite bedingt, so mufs man ein unbedecktes Siel erbauen, also eine Schiffs-Schleuse, die zugleich als Entwässerungs-Schleuse benutzt wird. Häufig trennt man aber auch in solchem Falle die Anlage, und richtet neben der Schiffs-Schleuse ein Siel ein.

Bei Bestimmung der lichten Weite und Höhe eines Sieles mufs man noch darauf Rücksicht nehmen, dafs beide Dimensionen in einem angemefsnen Verhältnisse zu einander stehn. Namentlich darf die Höhe nicht geringer, als zwei Drittheile der Weite sein, weil sonst die Construction der Thore Schwierigkeiten bietet, und besonders das Durchsacken derselben kaum zu verhindern sein möchte.

Wenn die abzuführende Wassermenge eine gröfsere Weite, als von 18 Fufs fordert, so stellt man das nöthige Ausflufs-Profil dadurch dar, dafs man zwei Siele neben einander erbaut. In dieser

*) Bouwkundige Leercursus. 1857. II. Pag. 340.

Weise wurden bei der Eindeichung des Wapeler Grodens in den Jahren 1822 und 1823 auf der südlichen Seite des Jade-Busens zwei Siele ausgeführt, von denen das eine, das zugleich zum Durchgange von Schiffen bestimmt war, 17 Fufs, das andre aber nur 12 Fufs weit war. Beide erhielten ein gemeinschaftliches Sieltief, und die Zuleitungs-Canäle, von denen der erste die Jade, und der zweite die Wapel aufnahm, wurden zwar besonders dargestellt, jedoch neben den Sielen mit einander verbunden, so dafs die Auswässerung eben sowol durch das eine wie durch das andere erfolgen konnte. Man erreichte hierdurch noch den Vortheil, dafs man, ohne die Entwässerung ganz zu unterbrechen, die nöthigen Reparaturen an einem Siele vornehmen und dasselbe zeitweise schliefsen konnte.

Eine wichtige Frage in Betreff der Anordnung der Siele bezieht sich darauf, ob man dieselben nur mit einem, oder mit zwei Paaren Stemmthore versehn soll, die beide gegen die Fluth aufschlagen, also sich gegenseitig unterstützen. In den ältern Oldenburgischen Sielen, die sich durch sehr zweckmäfsige Construction auszeichnen und grofsentheils von Hunrichs herrühren, findet man jedesmal den doppelten Thorverschlufs, auch kommt derselbe in den Niederländischen Sielen häufig vor. Der Nutzen dieser Anordnung besteht darin, dafs man bei ungewöhnlich hohen Fluthen und besonders wenn die Thore schon etwas schadhaft sind, den starken Wasserdruck vertheilen, und sonach die Gefahr für jedes Thor wesentlich vermindern kann. Aufserdem wird hierdurch auch die Gelegenheit geboten, die schadhaften Thore herauszunehmen und in Stand zu setzen, ohne dafs die Auswässerung des Sieles unterbrochen werden darf, weil während dieser Zeit noch das andre Thorpaar in Wirksamkeit bleibt.

Man darf indessen diese Vortheile des doppelten Thor-Verschlusses nicht zu hoch anschlagen, denn zunächst ist das Aus- und Einhängen der innern Thore, die im Siele selbst liegen, viel mühsamer, und bei dem Mangel an Licht kann sogar die Untersuchung derselben nicht so sicher vorgenommen werden, als die der äufsern Thore. Sodann täuscht man sich aber auch, wenn man glaubt, dafs bei dieser Einrichtung das zweite Thorpaar in Wirksamkeit treten soll, sobald das erste unter hohem Wasserdrucke gebrochen ist. Wenn nämlich alle vier Flügel so gestellt sind, dafs sie durch den

eingehenden Strom gefafst und geschlossen werden können, so geschieht dieses dennoch nicht, weil das eine immer etwas beweglicher, als das andre ist. Schon bei einem Thorpaare schliefsen sich die beiden Flügel nie gleichzeitig, vielmehr bleibt einer jedesmal länger geöffnet, als der andre, und bedarf zu seiner Bewegung schon eines stärkeren Stromes, der sich erst später einstellt. Bei zwei Thorpaaren geschieht dasselbe. Dasjenige Paar, dessen beide Flügel am beweglichsten sind, schliefst sich zuerst. Hierdurch wird aber der eingehende Strom vollständig unterbrochen, und sonach können die Flügel des andern Paares sich nicht mehr schliefsen. Sollte alsdann, nachdem die Fluth schon hoch angewachsen ist, ein Flügel des in Wirksamkeit getretenen Thores brechen, so würde zwar der starke hereinstürzende Strom augenblicklich die Flügel des zweiten Thores fassen und schliefsen, aber die Heftigkeit des Stofses würde sie auch gleichzeitig zertrümmern. Hierzu kommt noch, dafs die Hoffnung, das zweite Thorpaar könne die Fluth abhalten, wenn auch das andre gebrochen ist, leicht Veranlassung giebt, dafs man anfallende Beschädigungen in den Thoren unbeachtet läfst. Aus diesen Gründen dürfte ein einzelnes Thorpaar, das unbedingt den vollen Wasserdruck abhalten mufs, und welches deshalb auch immer im guten Stande erhalten wird, zweckmäfsiger sein, als der doppelte Verschlufs.

Es giebt noch einen andern Umstand, der gleichfalls gegen den doppelten Verschlufs der Siele spricht. Wenn man nämlich bei einer in Aussicht stehenden hohen Fluth den Druck auf beide Thorpaare vertheilen will, so stellt man die äufsren Thore so, dafs sie vom eingehenden Strome nicht gefafst werden. Es schliefsen sich alsdann die innern Thore, und wenn dieses geschehn ist, so lehnt man mittelst Hacken auch die äufsern an ihre Schlagschwellen an. Diese erleiden nun, wenigstens Anfangs, keinen Druck, der sie fest geschlossen hält. Sie schliefsen und öffnen sich daher bei jeder anschlagenden Welle, je nachdem ein Wellenkamm oder ein Thal sich unmittelbar vor ihnen befindet. Dabei dringt fortwährend soviel Wasser ein, als dem inzwischen erfolgten Steigen der Fluth entspricht. Die Verhältnisse ändern sich daher nicht, und jede Welle wirft die Thore zu, während sie unmittelbar darauf sich wieder öffnen. Dieses Schlagen der Thore, das bei heftiger Wellenbewegung sehr stark und nachtheilig ist, setzt sich so lange

fort, bis endlich das Siel hoch vom Wasser bedeckt ist, und die Wirkung der Wellen in der gröfsern Tiefe weniger stark wird.

Bei Sielen, die nicht überdeckt sind, ist dieser Uebelstand noch gröfser, weil das Zuschlagen bis zum höchsten Wasser nicht aufhört, und selbst während der ersten Ebbe noch fortdauert. Es leuchtet aber ein, dafs in diesem Falle die innern Thore dem vollen Drucke ausgesetzt bleiben, und von den äufsern gar nicht unterstützt werden. Bei dem 1846 in der Herrschaft Varel erbauten offenen Siele zeigte sich dieses Schlagen der Thore in so grofsem Maafse, dafs für die äufsern Thore bei heftigen Winden augenscheinliche Gefahr eintrat, und man sich gezwungen sah, den Wasserstand zwischen beiden Thorpaaren dadurch zu senken, dafs man in den innern Thoren eine Menge Bohrlöcher anbrachte, durch welche das Seewasser in das Binnenland abfloſs. Hierdurch erzeugte sich bald ein starker Druck gegen die äufsern Thore, der das Aufgehn derselben verhinderte. Bei Schiffsschleusen, die dem Wellenschlage ausgesetzt sind, stellt sich der Druck gegen die äufsern Thore sehr schnell ein, wenn man die Schütze der innern Thore öffnet, und dadurch den Wasserstand in der Kammer etwas senkt. Alsdann bleiben die äufsern Thore fest geschlossen, wenn auch die Schütze wieder herabgelassen werden.

Die erwähnten Umstände, verbunden mit den bedeutenden Mehrkosten, welche sowol die Anlage, als Unterhaltung des zweiten Thorpaares nebst den zugehörigen Schlagschwellen, Thorkammern u. dgl. verursacht, gaben Veranlassung, dafs man vor etwa 30 Jahren im Oldenburgischen von der frühern Methode abging, und die Siele nur mit einem Thorpaare, nämlich an der äufsern Seite versah. Man fand sich hierzu um so mehr veranlafst, als bei dieser Anordnung eine Instandsetzung der Thore noch sehr sicher erfolgen konnte, wenn dieselbe bei günstiger Witterung und nicht gerade zur Zeit der Springfluthen vorgenommen wurde. Es ist nämlich bei der hohen Lage der dortigen Marschen, und besonders wenn die Bewohner hiervon vorher benachrichtigt sind, ohne wesentlichen Nachtheil, wenn auch eine Fluth durch das geöffnete Siel in das Binnenland einfliefst. Dadurch wird nur der Wasserstand in den Gräben gehoben, ohne dafs die Wiesen inundirt werden. Der gröfste Uebelstand, der sich hierbei zeigt, beruht darin, dafs die Gräben sich mit Seewasser anfüllen, doch kann man dasselbe von den klei-

nen Wasserläufen absperren, welche die Weiden durchschneiden und begrenzen, und sonach findet das Vieh, der eintretenden Fluth ohnerachtet, in diesen noch süfses Wasser. Längere Zeiten hindurch dürfen die Siele indessen nicht geöffnet bleiben, und jedenfalls müssen beim zweiten niedrigen Wasser die Thore wieder eingehängt sein.

Die Ansicht, dafs das zweite Thorpaar entbehrlich sei, die vorzugsweise von dem damaligen Deichgräfen Burmester ausging und vertheidigt wurde, hat indessen später Widerspruch gefunden, und gegenwärtig ist man auch davon zurückgekommen, indem man wieder die Siele mit doppeltem Thorverschlufs, wie zu Hunrichs Zeiten erbaut. Manche Erfahrungen sollen den Nutzen dieser ältern Einrichtungen herausgestellt haben, und bei geregelter Aufsicht und Behandlung der Siele, deren jedes unter einem besonderen Wärter steht, lassen die oben erwähnten Uebelstände sich auch leicht umgehen. Das eine Thorpaar, und gemeinhin das innere, wird jedesmal festgestellt, so dafs es sich nicht von selbst schliefst, die Wirksamkeit des Sieles beruht also in gewöhnlichen Fällen allein auf den äufsern Thoren. Bei hohen Fluthen dagegen schliefst der Wärter auch die innern Thore und vertheilt dadurch den Wasserdruck auf beide.

Die einfachsten Siele sind die sogenannten Pumpsiele, die bei mäfsiger Weite und Höhe nur aus hölzernen Rinnen bestehn, die an der äufsern Seite durch eine Klappe geschlossen werden. Fig. 36 zeigt ein solches in dem Längendurchschnitte und in der Ansicht von vorn. Zuweilen sind sie noch einfacher construirt, und bestehn nur aus hölzernen Röhren, oder aus solchen Rinnen, die ohne Rahmen, aus vier Bohlen zusammengesetzt sind. In diesem Falle heifsen sie Sichter. Die Anwendung gufseiserner Röhren würde für diesen Zweck auch vortheilhaft sein, weil sich dabei ein besonders dichter Schlufs leicht darstellen läfst, doch müfste eine Art der Zusammenstellung gewählt werden, wobei eine Durchbiegung möglich bliebe, ohne die Wasserdichtigkeit der Fugen aufzuheben.

Die Figur stellt ein Pumpsiel der gröfsten Art dar. Seine Construction bedarf keiner nähern Beschreibung. Es ruht nicht auf Pfählen, sondern nur auf zwei Schwellen, welche an der Senkung des Erdreiches Theil nehmen, und durchbiegen, falls der Untergrund unter der Last des Deiches ausweichen sollte. Der äufsere Theil

oder das Vorsiel ist mit einem Bohlenboden versehn, der von einem leichten Pfahlwerke getragen wird, zuweilen bringt man auch unter der Schwelle, gegen welche die Klappe sich lehnt, eine Spundwand an, und diese Anordnung rechtfertigt sich in sofern, als diese Stelle wegen der geringen Höhe der Aufschüttung noch nicht stark belastet wird, sich also nur mäfsig setzt. Zwei hölzerne Flügelwände halten vor der Rinne die Erde zurück. Die Klappe, in sehr einfacher Weise aus Bohlen zusammengefügt, hängt an zwei eisernen Bändern, und öffnet sich, sobald der Druck des Binnenwassers stärker wird, als der des äufsern. Indem sie sich aber niemals hoch erhebt, so wird die Oeffnung immer nur in geringem Maafse frei und daher ist die Auswässerung nicht so kräftig, als die Weite der Rinne dieses erwarten läfst.

Wenn die lichte Weite der Siele nur 8 Fufs oder noch weniger beträgt, so pflegt man nicht leicht Stemmthore anzubringen, sondern dafür einfache Thore zu wählen, die sich an den Rahmen, der das Siel begrenzt, flach anlegen. Ueber diese Einrichtung ist nichts hinzuzufügen, da die Construction von der der gröfsern Siele sich nicht wesentlich unterscheidet.

Die Stemmthore der gröfsten Siele werden oft wie Schleusenthore zusammengesetzt. Jedes derselben besteht alsdann aus der Wendesäule, der Schlagsäule, den beiden Rahmen, mehreren Riegeln, der Strebe und der Bohlenverkleidung nebst den zugehörigen eisernen Bügeln, Winkelbändern u. dgl. Die Wendesäule ist am untern Ende meist mit einer Pfanne versehn, die auf einem eisernen Zapfen ruht, oben dagegen läuft sie in einen cylindrischen Hals aus, der von einem Halsbande umfafst wird. Letzteres ist verschiedenartig eingerichtet, und die Eigenthümlichkeiten, die bei den Halsbändern der Schleusenthore vorkommen, wiederholen sich auch bei denen der Thore in den Sielen. Bei diesen mufs jedoch für eine leichte Lösung und Wiederbefestigung des Halsbandes gesorgt werden, da man oft gezwungen ist, in der kurzen Zwischenzeit, während die Strömung im Siele umsetzt, ein schadhaftes Thor herauszunehmen und dafür ein neues einzuhängen. Die Einrichtung, welche Fig. 37 zeigt, wiederholt sich vielfach. Dabei besteht das Halsband nur aus einem eisernen Bügel, der durch den obern Schlagbalken hindurchgezogen, und am hintern Ende durch Schraubenmuttern oder, was noch bequemer ist, durch durchgesteckte Splinte

befestigt wird. Es ist dabei ohne Nachtheil, wenn durch diesen Bügel der Hals der Wendesäule auch nicht in unmittelbare Berührung mit dem obern Drempel gebracht wird, denn dieses geschieht schon sehr sicher, sobald der Wasserdruck sich einstellt. Der Bügel oder das Halsbald mufs dagegen das Ausweichen des Thores in der Richtung der Drempel vollständig verhindern, weil sonst die beiden Thore, wenn sie geschlossen sind, sich nicht mehr berühren, und eine offene Fuge zwischen ihnen bleiben würde, durch welche das Hochwasser fortwährend einströmen könnte.

Die angedeutete Construction, welche mit der der gewöhnlichen Schleusenthore übereinstimmt, beruht indessen auf einem gegenseitigen Stemmen oder Streben der Thore, das hier nicht stattfindet, weil die Thore sich nicht nur unten an die Schlagschwelle, sondern auch oben an den Schlagrahm anlehnen. Die Durchbiegung kann daher nicht so stark werden, dafs man, um dieselbe zu verhindern, die Wendesäulen gegen scharf anschliefsende Wendenischen stellen müfste, wobei die Riegel des Thores in Anspruch genommen würden. Wenn jedes Thor sowol oben, als unten, und zwar in der ganzen Breite unterstützt wird, so kommt es nur darauf an, die Durchbiegung in der halben Höhe zu verhindern, und dieses geschieht am einfachsten und sichersten, wenn das Thor aus senkrechten Bohlen oder Halbhölzern zusammengesetzt wird. Eine solche Verbindung wird auch vorzugsweise von Hunrichs*) empfohlen, und derselbe hat sie ausschliefslich bei den Sielbauten in Oldenburg angewendet, wovon man jedoch später abgegangen war.

Fig. 38, *a* und *b* zeigt ein solches Thor in der äufsern und der obern Ansicht. Die Bohlen, aus welchen es besteht, müssen hinreichend stark sein, um dem Wasserdrucke den nöthigen Widerstand leisten zu können, und hierbei kommt, wie bekannt, die Länge, auf welche sie frei liegen, wesentlich in Betracht. Für niedrige Siele genügt es, nur vierzöllige Bohlen zu verwenden, für höhere mufs die Stärke dagegen mindestens 6 Zoll betragen. Den beiden äufsern Hölzern, welche die Stelle der Wendesäulen und Schlagsäulen vertreten, giebt man aber eine gröfsere Stärke. Die Bohlen werden weder mit Spundung versehn, noch gefalzt, sondern nur stumpf zusammengesetzt. Dagegen bringt man in den Fugen höl-

*) Im bereits benannten Werke. I. Seite 321 ff.

zerne Dübel an, die in cylindrischen Zapfen bestehn, und in je zwei Bohlen eingreifen. Zuweilen werden statt derselben auch eiserne Dübel benutzt. Zur Dichtung der Fugen wendet man getheertes Fliefspapier an, und treibt die Hölzer fest zusammen, indem jene Dübel vorläufig schon einigen Zusammenhang darstellen. Zur sichern Verbindung der einzelnen Bohlen dienen vorzugsweise die Riegel mit der dazwischen eingesetzten Strebe. Jede Bohle ist mit jedem Riegel durch zwei Bolzen verbunden, und man pflegt letztere nicht mit Schraubenmuttern zu versehn, die wegen der feuchten Umgebungen doch bald durch den Rost so festgehalten werden, dafs sie nicht nachgezogen werden können, vielmehr werden keilförmige Splinte durch die Bolzen gesteckt, die sich gegen Scheiben lehnen und so oft es nöthig ist, nachgetrieben werden. Aufserdem sind daran noch zwei eiserne, in das Holz eingelassene Bügel angebracht, die das Thor in seiner ganzen Breite sowol oben, wie unten umfassen. Endlich wäre noch darauf aufmerksam zu machen, dafs in Fig. *b* die in das Hirnholz eingelassene eiserne Feder sichtbar ist, welche mit ihrem aufwärts gebogenen Arme die Schiene bildet, wogegen das Halsband sich lehnt. Hierdurch wird der starken Abnutzung des Halses der Wendesäule vorgebeugt.

Indem die Sielthore sowol bei der einen, wie bei der andern Construction einen dichten Schlufs darstellen, ohne mit ihren Schlagsäulen sich gegen einander zu stemmen, so ist es auch zulässig, diese Stemmung ganz aufzugeben und die beiden Schlagschwellen in dieselbe Vertikal-Ebene zu legen. Dieses geschieht wirklich, wenn das Schlaggebinde, wie bei hölzernen Sielen oft der Fall ist, durch einen Mittelständer in zwei Theile zerlegt wird. An diese Mittelständer schliefst sich in solchem Falle eine Mittelwand an, die zur Unterstützung der Decke dient. Alsdann besteht das Siel eigentlich aus zwei besondern Sielen, die unmittelbar neben einander liegen, und von denen jedes durch ein einfaches Thor geschlossen wird.

Wenn dagegen der Mittelständer fehlt, also die geschlofsnen Thore sich unmittelbar berühren müssen, um den wasserdichten Schlufs darzustellen, so würden sie nur in dem Falle in einer Ebene stehn dürfen, wenn auch ihre Drehungs-Achsen in derselben Ebene angebracht werden könnten. Diese Bedingung gründet sich darauf, dafs bei der gewöhnlichen Lage der Achsen dasjenige Thor, das am

längsten geöffnet bleibt, sich nicht mehr an die Schlagschwellen anlehnen kann, vielmehr durch das bereits geschlofsne Thor hieran verhindert wird. Wenn man nämlich von der Drehungs-Achse die Mittellinie an die gegenüberstehende schmale Seite des Thores zieht, so ist diese zugleich der Abstand von dem bereits geschlofsnen Thore. Die Entfernung der Achse von der innern Kante der Schlagsäule ist aber als Hypotenuse des rechtwinkligen Dreiecks etwas länger, und sonach findet diese Kante bei der Drehung des Thores nicht mehr den nöthigen freien Raum, und kann sich daher nur an das bereits geschlofsne Thor anlehnen. Vor den Schwellen bleibt also eine weite Fuge offen, durch welche das Wasser bei steigender Fluth in das Siel eindringt. Auch in dem Falle, dafs beide Thore gleiche Beweglichkeit haben, und gleichzeitig sich schliefsen, stofsen schon vor der Berührung der Schwellen die beiden innern Kanten der Schlagsäulen zusammen und stemmen sich gegeneinander, wodurch derselbe Uebelstand veranlafst wird, der wegen der Heftigkeit der auf- und abwärts gerichteten Wasserstrahlen für die Siele sehr gefährlich sein würde. Die obige Bedingung, dafs die Drehungs-Achsen in die Ebene der Schlagschwelle, oder vielleicht noch über diese hinaus versetzt werden müssen, ist schwer zu erfüllen, weil alsdann gekröpfte eiserne Achsen angewendet werden müfsten und die ganze Construction ihre Einfachheit verlieren würde.

Man vermeidet dieses, indem man die beiden Schlagschwellen in sehr stumpfen Winkeln zusammenstofsen läfst, und zwar ist derselbe viel stumpfer, als bei den Drempeln der gewöhnlichen Schiffsschleusen. Das erwähnte gegenseitige Klemmen der Thore wird bei den üblichen Dimensionen derselben schon vermieden, wenn in dem gleichschenkligen Dreiecke, welches die Schwellen bilden, die Höhe dem sechszehnten Theile der Basis gleich ist. Man pflegt indessen, um ganz sicher zu sein, ein etwas gröfseres Verhältnifs anzunehmen, und gewöhnlich mifst die Höhe den zwölften bis achten Theil der Basis.

In den Niederländischen Sielen, besonders in denjenigen, die weitere Oeffnungen haben, pflegen die Thore wie Schleusenthore zusammengesetzt zu sein. Hierbei verdient eine eigenthümliche Einrichtung des obern Schlaggebindes noch erwähnt zu werden, die Fig. 40 darstellt. Bei Schärdamm in der Nähe von Hoorn in Nordholland befindet sich ein Siel, das zugleich als Schiffsschleuse dient,

und dessen Thore über den höchsten Wasserstand herüberreichen. Die Schiffe können indessen nicht mit stehenden Masten hindurchgehn, sondern diese müssen wegen der festen Brücke, die auf dem Deiche erbaut ist, niedergelegt werden. Von diesem Umstande hat man Gebrauch gemacht, um die Schlagsäulen der äufsern Thore, wenn letztere geschlossen sind, noch im obern Theile zu unterstützen. Vor der Brücke und in Verbindung mit derselben befindet sich nämlich die in der Figur gezeichnete Verstrebung, die der gewöhnlichen Zusammensetzung der Schlagschwellen nicht unähnlich ist, sich aber dadurch von dieser unterscheidet, dafs die Streben nicht zugleich die Schwellen sind, an welche sich die Thore anlehnen, vielmehr geschieht dieses nur gegen den Kopf des Binders. Die Weite dieses Siels mifst etwa 22 Fufs.

In Betreff der Befestigung der Thore ist noch der Aufhalter zu erwähnen, gegen welchen das geöffnete Thor sich lehnt, wenn es sich von selbst sogleich schliefsen soll, wie die Strömung in das Siel tritt. Fig. 37 und 39 zeigen diese Vorrichtung. An einer senkrechten eisernen Achse befindet sich ein horizontaler Arm, der mit einem Knopfe versehn, und durch eine Strebe unterstützt ist. Gegen den Knopf lehnt sich das Thor, und damit der Aufhalter diese Stellung nicht ändert, so wird er seitwärts durch einen Hacken gehalten. Wenn dagegen das Thor nach sehr starkem Regen oder im Frühjahre ganz zurückschlagen soll, um das Durchflufsprofil nicht zu beschränken; so wird der erwähnte Hacken gelöst und der Aufhalter flach an die Wand gedreht, worauf auch das Thor sich vollständig öffnet, jedoch bei der nächsten Fluth durch den Wärter geschlossen werden mufs, weil dieses nicht mehr durch die Strömung geschehn kann. Dieses Zurückdrehn der Aufhalter nennt man das Aufsperren der Thore.

Was die Anordnung und Construction der Siele betrifft; so verdienen ohne Zweifel die im Oldenburgischen gesammelten Erfahrungen und gewählten Einrichtungen vorzugsweise Berücksichtigung, wo wegen der Höhe der Fluthen eine grofse Vorsicht nothwendig ist, und man seit hundert Jahren diesem Gegenstande eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet hat. Der Sielbau ist bis zum heutigen Tage noch nicht gründlicher behandelt worden, als dieses bereits im vorigen Jahrhunderte durch den Deichgräf Hunrichs in Oldenburg geschehn ist. Das bereits angeführte Werk desselben

ist um so wichtiger, als der Verfasser den Gegenstand aus Erfahrung sehr genau kannte, und eine Menge Siele, die er erbaut hat, bestehn noch gegenwärtig und sind fortdauernd in Wirksamkeit. Hiernach wird es sich rechtfertigen, wenn bei Beschreibung dieser Bauwerke zunächst diejenigen Anordnungen bezeichnet und erörtert werden, welche Hunrichs empfohlen hat. Die Mittheilung andrer Ansichten und Einrichtungen soll demnächst folgen.

Unter Siel versteht man eigentlich nicht den ganzen Bau, sondern nur denjenigen Theil, der mit einer Decke versehn und mit Erde überschüttet ist. Zu demselben gehören jedenfalls die Thore mit den Schlaggebinden. Die offenen Theile der Rinne, oder die Flügelwände oder Flügelmauern nebst den dazwischen befindlichen Böden heifsen Vorsiele. Das äufsere Vorsiel ist auswärts, und das innere landwärts gekehrt. Das eigentliche Siel zerfällt wieder in zwei oder drei Theile. Das Hauptsiel, das man gern unter die Krone des Deiches legt, oder doch wenigstens so, dafs es seiner ganzen Länge nach von einer hohen Erdschüttung überdeckt wird, umfafst den zwischen beiden Thorpaaren befindlichen Raum. Das äufsere Siel ist der Theil des Sieles, der seewärts vor den äufsern Thoren liegt, und das innere Siel landwärts vor den innern Thoren. Das in Fig. 39 dargestellte Siel, das im Holsteinschen unter Woltman's Leitung ausgeführt wurde, hat sonach weder äufseres Siel, noch Hauptsiel, sondern besteht eigentlich nur aus dem innern Siele. Das äufsere Siel fehlt jedesmal, so oft das vordere Thorpaar an der äufsern Seite des Sieles angebracht ist, und die Flügel desselben in das äufsere Vorsiel treten. Diese Einrichtung gewährt zwar den grofsen Vorzug, dafs man das Spiel der Thore immer bequem beobachten und dieselben, so oft es nöthig ist, leichter ausbessern kann, sie darf indessen nicht gewählt werden, wenn die Decke des Sieles nicht vollständig gesichert erscheint, und ein Durchbruch des Wassers durch dieselbe zu besorgen ist. Hiernach pflegt bei denjenigen Sielen, die nur mit Bohlendecken versehn sind, das vordere Thorpaar weiter zurückgesetzt oder ein äufseres Siel angebracht zu werden.

Die hölzernen Siele zerfallen in zwei Classen, nämlich in Ständer- und Balken-Siele. Fig. 41, *a*, *b* und *c* zeigt ein Ständer-Siel im Grundrisse, so wie auch im Längen- und im Querdurchschnitte. Die Thore liegen bei demselben nach Hunrichs Vorschrift jedesmal

im Innern, weil die Decke nur durch einen Bohlenbelag gebildet wird. Diese Siele werden gemeinhin nicht auf einen Pfahlrost gestellt, doch pflegt man unter den Schlagschwellen schwache Spundwände anzubringen, die indessen nicht so fest gerammt sind, dafs sie das Sacken des ganzen Siels verhindern könnten. An den äufsern Enden der Vorsiele und namentlich des äufsern Vorsieles befinden sich aufserdem noch zwei Quer-Spundwände oder wenigstens eine.

Der Boden, so wie die Decke und die Seitenwände dieses Sieles sind nur durch Bohlen gedichtet, und da rings umher bei hohem Wasserstande der Druck von aufsen nach innen gerichtet ist, so müssen in geringem Abstande Rahmen von Balkenholz eingestellt werden, wogegen die Bohlen sich lehnen. Die Abstände dieser Rahmen, die man Gebinde oder Joche nennt, betragen bei weiteren Sielen nur 2 Fufs von Mitte zu Mitte, und indem sie oben, unten und seitwärts vortreten, so darf man die lichte Weite und Höhe des Sieles nicht nach den Bohlenwänden, sondern man mufs sie nach den innern Flächen dieser Gebinde bestimmen. Um die Bohlen, welche den Boden bilden sollen, gehörig verlegen, befestigen und dichten zu können, müssen Querbalken darunter gestreckt werden, und damit diese wieder ein sicheres Lager erhalten, so legt man über den gehörig geebneten und festgerammten Boden der Baugrube zunächst zwei Schwellen, die gewöhnlich noch auf kurzen Unterlagen ruhn. Die weitere Construction ergiebt sich mit hinreichender Vollständigkeit aus den Figuren, und es ist dabei nur auf einzelne Umstände aufmerksam zu machen.

Der Bohlenboden und selbst die Querbalken dürfen nicht hohl liegen, vielmehr mufs der Raum darunter mit zäher Klaierde vollständig gefüllt und letztere angestampft werden, so dafs jedes Verbandstück und jede Bohle überall fest aufliegt. Die Bohlen werden weder mit Spundungen, noch mit Falzen versehn, sondern nur stumpf, aber recht fest zusammen getrieben, und wenn sie nicht ganz frisch verwendet werden, so quellen sie in dem nassen und feuchten Siele so stark, dafs die Fugen sich vollständig schliefsen, und ein besonderes Dichten derselben durch Eintreiben von Werg entbehrlich ist. Letzteres geschieht allerdings zuweilen in den Niederländischen Sielen, und dabei bezweckt man weniger, ein mäfsiges Durchquellen zu verhindern, was in der That ohne Nachtheil ist, als man

vielmehr die Ausbildung von Wasseradern in der Erdschüttung verhindern will, die nach und nach in bedenklicher Weise sich erweitern und sogar den Bruch des Deiches veranlassen können, wenn man nicht bei Zeiten den Schaden wieder herstellt. Die Erkennung solcher Quellen ist bei dem Mangel an Licht im Innern des Sieles nicht leicht, und man ist immer geneigt, das Eindringen des Seewassers der Undichtigkeit der Thore zuzuschreiben, die allerdings am häufigsten hierzu Veranlassung giebt. Man darf indessen nicht unterlassen, sobald das Siel zur Zeit des Hochwassers sich undicht zeigt, dasselbe beim Scheine von hellbrennenden Lichtern oder Fackeln genau zu untersuchen, und wenn man im Innern, sei es am Boden, oder der Decke, oder den Seitenwänden Stellen entdeckt, durch welche Wasser hineinfliefst, die also auf freie Wasseradern im Deiche schliefsen lassen, diese durch eingetriebenes Werg schleunigst wieder zu dichten.

Die erwähnten Gebinde werden, wie Fig. 41 *b* und *c* zeigen, noch durch Bänder verstärkt, welche vorzugsweise das Verziehen und das Ueberweichen des Sieles nach einer Seite verhindern sollen. Aufserdem dienen sie aber auch zur Unterstützung der Deckbalken. In der Nähe der Thore mufs man sie fortlassen, weil sie das Aufgehn derselben verhindern und zugleich das Durchflufsprofil, das hier schon stark beschränkt ist, noch mehr beengen würden. Aufserdem ist zu bemerken, dafs man die obern und untern Rahme der Gebinde an den Seiten etwas einschneidet, damit die Stiele oder Ständer sich an Brüstungen lehnen, und nicht allein durch die Zapfen gegen das Verschieben gesichert werden.

An denjenigen Stellen, wo die Thore sich befinden, sind statt der gewöhnlichen Gebinde stärkere angebracht, die man Schlaggebinde nennt. In ihrer Zusammensetzung sind sie den so eben beschriebenen gleich, nur greifen die Verbandstücke mit doppelten Zapfen in einander, und die Bänder fehlen auch hier, weil dadurch das Profil noch mehr verengt werden würde. Der Bohlenbelag setzt sich rings um diese Gebinde in gleicher Art fort, wie um die andern. Die gröfsere Holzstärke tritt sonach an der innern Seite vor und bildet den nöthigen Raum zum Anschlage der Thore. In die beiden Seitenstiele werden die Wendenischen eingeschnitten, und in dem obern und untern Rahme befinden sich die unter einem sehr stumpfen Winkel zusammenstofsenden Flächen, gegen welche die

Thore sich lehnen. Man muſs zu den letzten Verbandstücken so hochkantiges Holz nehmen, daſs nicht nur der Anschlag für die Thore, sondern auch der nöthige Spielraum zwischen diesen und den obern und untern Rahmen der nächsten Gebinde sich darstellt. Zur Unterstützung des Schlaggebindes dienen endlich, wie die Figuren zeigen, noch zwei starke Streben, die an die nächsten Stiele gebolzt und auf die vierte Schwelle aufgeklaut sind.

Man könnte, ohne die Wirksamkeit des Sieles wesentlich zu schwächen, dem Binnensiele geringere Breite und Höhe geben, und die Gebinde so abmessen, daſs deren lichte Weite und Höhe ganz oder nahe mit der des Schlaggebindes übereinstimmt. Diese Anordnung würde sich allerdings insofern rechtfertigen, als die Thorkammer schon in gleicher Art das Siel verengt. Nichts desto weniger würde hierdurch doch immer der Zufluſs etwas erschwert werden, auch die ganze Construction ihre Einfachheit verlieren. Dazu käme noch ein andrer Uebelstand. Die Halsbänder bestehn nämlich in Bügeln, welche durch den Rahm des Schlaggebindes gesteckt und an dessen hinterer Seite durch eingezogene Splinte gehalten werden. Bei der angedeuteten Verengung und Erniedrigung des Binnensieles würde man zu diesen Splinten nicht gelangen, und daher die Thore nicht leicht ausheben und wieder einhängen können, so oft deren Instandsetzung erforderlich ist.

Daſs das Siel zu beiden Seiten und eben so auch oben mit fettem Thon umgeben und derselbe fest angestampft werden muſs, um jedes Durchdringen von Wasseradern möglichst zu verhindern, bedarf kaum der Erwähnung. Auffallend ist es indessen hierbei, daſs Hunrichs empfiehlt, man solle die Erde nicht unmittelbar gegen das Holz schütten, sondern eine dünne Lage Haidekraut oder Torf dazwischen einbringen, weil alsdann das Holz nicht so leicht fault. Obwohl die benannten vegetabilischen Stoffe nicht leicht in Fäulniſs übergehn, und daher die Bildung des Schwammes wenigstens nicht befördern, so ist doch von der reinen Thonerde derselbe Erfolg und zwar noch vollständiger und sicherer zu erwarten. Man darf indessen nicht unbeachtet lassen, daſs die Klaierde, aus der die Watte und Groden an der Oldenburgischen Meeresküste sich bilden, keineswegs reine Thonerde ist, sondern dieselbe auch vegetabilische und animalische Bestandtheile enthält, die allerdings in nachtheiliger Weise wirken können. Am meisten ist das Faulen des Holzes

immer an denjenigen Stellen zu besorgen, wo zwei Verbandstücke sich berühren, und die Fugen mit stehendem Wasser angefüllt bleiben. Durch sorgfältigen Theeranstrich sucht man diesem Uebelstande zu begegnen, und der Theer dient alsdann zugleich zur Darstellung der erforderlichen Wasser-Dichtigkeit der Bekleidung. Zu dem letzten Zwecke wird zuweilen auch eine feine elastische Zwischenlage namentlich von gehacktem Moose, das man auf den Theer streut, eingebracht. Vorzugsweise hängt der dichte Schlufs der Fugen vom scharfen Zusammentreiben der Bohlen ab, wofür also besonders gesorgt werden mufs.

Damit die angestampfte Erde nicht etwa Höhlungen bilde, indem sie am Herabsinken gehindert wird, so dürfen die Rahmstücke der Gebinde auswärts nicht vor die Bohlenwand vortreten, und die Schwellen reichen, wie Fig. 41 *c* zeigt, auch nur so weit über die letztere hinaus, als die sichere Aufstellung der Stiele dieses fordert.

Ueber die Vorsiele ist zu erwähnen, dafs man bei denselben den Pfahlrost nicht füglich entbehren kann, weil sonst der Boden nicht die nöthige Haltbarkeit haben würde, doch pflegt man nicht unter alle Kreuzungen der Lang- und Querschwellen Pfähle zu stellen, vielmehr geschieht dieses nur etwa unter der Hälfte derselben. Die Seitenwände der Vorsiele bestehn aus gewöhnlichen Bohlwerken, die entweder durch Erdanker gehalten, oder durch Spannbalken gegen einander gestützt werden. Letzteres ist dauerhafter und einfacher; dabei tritt aber der Uebelstand ein, dafs die Schiffe, die bei Hochwasser ankommen, nicht sogleich in das Vorsiel einlaufen und darin den Eintritt des niedrigen Wasserstandes abwarten können, vielmehr schon vorher die Masten niederlegen und so lange aufserhalb bleiben müssen, bis sie unter den Spannbalken den nöthigen freien Raum zum Durchgange finden. Diese Spannbalken sind aufserdem noch der Gefahr ausgesetzt, dafs sie bei stark bewegtem Wasser von den Wellen aufwärts gestofsen und ausgehoben werden. Um dieses zu verhindern, werden sie oft mit leichten Rosten überdeckt, welche durch grofse Feldsteine beschwert werden. In diesem Falle tragen sie zur Mäfsigung des Wellenschlages bei, und das Vorsiel und die Thore sind solchem weniger ausgesetzt.

Dafs auf der Landseite, also im innern Vorsiele, noch ein Schütz angebracht wird, um das zu tiefe Ablaufen des Binnenwassers zu

verhindern, ist bereits erwähnt worden. Dieses Schütz ist auch bei Reparaturen am Siele von grofser Wichtigkeit, weil letzteres bei niedrigen Ebben leicht trocken gelegt werden kann, sobald man den Zufluſs von der Binnenseite absperrt.

Die Einrichtung der Balkensiele ergiebt sich aus Fig. 42 *a*, *b* und *c*, nämlich *a* zeigt den Grundriſs, *b* den Durchschnitt durch die Mittellinie und *c* den Querschnitt. Pfahlroste kommen auch bei diesen Sielen gewöhnlich nicht vor, während nur die Schlagschwellen mit schwachen Spundwänden versehn sind. Sowol die Seiten, als der Boden und die Decke des Sieles bestehn aus Balkenlagen, welche im Innern ebene Flächen bilden, an denen das Wasser nach der Ansicht von Hunrichs weit weniger Widerstand erfährt, als in den Ständersielen. Hunrichs meint daher, daſs bei gleichem Querschnitte und unter übrigens gleichen Umständen ein Balkensiel wirksamer sei. Die Balken liegen überall nur stumpf an einander, doch sind sie in den Berührungsflächen sorgfältig beschlagen und werden scharf zusammengetrieben, um einen dichten Schluſs darzustellen. Auſserdem pflegt man namentlich in den Seitenwänden zwischeu den einzelnen Gängen noch eine Verbindung durch eiserne Dübel oder kurze Bolzen darzustellen, welche in je zwei einander berührende Balken einige Zoll tief eingreifen. Die Balken, welche den Boden und die Decke des Sieles bilden, sind nur so lang, als letzteres breit ist, Stöſse kommen daher in ihnen nicht vor. Dagegen sind solche in den Seitenwänden nicht zu vermeiden, und es darf kaum erwähnt werden, daſs sie gehörig abwechseln und durch Bolzen befestigt werden müssen.

Was die Ausführung betrifft, so werden auf zwei Schwellen die Bodenbalken verlegt, nachdem der Raum darunter vollständig ausgefüllt und geebnet ist. Die Schwelle des Schlaggebindes steht soweit über den andern Schwellen vor, daſs der nöthige Raum zum Anschlagen der Thore und der freie Spielraum unter den letzteren sich bildet. In gleicher Art springt das Schlaggebinde auch vor die Seitenwände und die Decke vor. Die Seitenwände werden einige Zolle tief in die Bodenbalken eingelassen, damit sie nicht durch den Druck der Erde und des Wassers hineingeschoben werden, und in gleicher Weise greifen sie auch in die Deckbalken ein. Auſserdem wird für ihre Befestigung noch in andrer Art gesorgt. Sie greifen nämlich mit ihrer halben Stärke, wie Fig. 42 *a* zeigt, in die

Schlaggebinde ein. Dabei ist zu bemerken, dafs in den Balkensielen die äufsern Thore unmittelbar am Vorsiele zu stehn pflegen, und dafs ein drittes starkes Gebinde für das Schütz oder auch wohl zum Einsetzen von Dammbalken sich neben dem innern Vorsiele befindet. Sonach greifen die in Rede stehenden Balkenwände jedesmal mit ihren Enden etwa 4 Zoll tief in die starken Stiele der Schlaggebinde, und überdiefs sind auswärts noch besondere Stiele angebracht, die sich gegen die obere und untere Balkenlage lehnen, und von diesen gehalten werden. An diese Stiele ist ein Balken um den andern mittelst Durchsteckbolzen befestigt. Die Köpfe der Bolzen befinden sich an der äufsern Seite, während sie im Innern durch Splinte angezogen werden, die sich an eiserne Scheiben lehnen. Die Schlaggebinde werden auch hier eben so wie bei Ständer-Sielen durch Streben unterstützt, und bei weiten Sielen geschieht es auch häufig, dafs man Mittelwände anbringt, um das Durchbiegen der obern Balkenlagen zu verhindern. Diese Vorsicht ist um so wichtiger, als die Kopfbänder sich hier nicht anbringen lassen. Noch mufs erwähnt werden, dafs die Balken nicht aus starkem Bauholze bestehn, sondern selbst bei weiten Dimensionen der Siele nur 8 bis 9 Zoll Stärke zu haben pflegen. Auch kommt es gar nicht darauf an, ob sie waldkantig sind, wenn sie sich nur in hinreichend breiten Flächen berühren, um einen dichten Schlufs darzustellen. Zu dem letzten Zwecke werden sie zuweilen sorgfältig behobelt, vortheilhafter ist es aber, nachdem sie schon ziemlich genau bearbeitet sind, jede Fuge mit einer feinen Säge aufzuschneiden, wodurch die Flächen, die sich später berühren sollen, sehr übereinstimmende Formen erhalten. Vor dem Verlegen werden die Balken mit Theer überzogen, und während derselbe noch nafs ist, streut man auf die Flächen, welche die Stofsfugen bilden, fein gehackt trocknes Moos auf, von dem nur eine dünne und ziemlich gleichmäfsig vertheilte Lage am Theer hängen bleibt. Ein scharfes Zusammentreiben der Balken beim Anbolzen derselben ist endlich Haupt-Erfordernifs.

Hunrichs äufsert sich über die Vorzüge der Ständer- und Balken-Siele in der Art, dafs die ersteren, so lange sie sich noch in gutem Stande befinden, eine gröfsere Steifigkeit, als die letzteren besitzen, und deshalb nicht nur in geringerem Maafse unter der Last des Deiches der Länge nach durchbiegen, sondern auch vor

einer Form-Veränderung des Querschnittes weit mehr gesichert sind. Diese Vorzüge sind besonders von Bedeutung, wenn das Siel grofse Dimensionen hat, also zugleich zum Durchgange von Schiffen dient. Hiernach wird die Anwendung der Ständersiele in solchem Falle empfohlen, sowie auch bei wenig haltbarem Untergrunde, wenn man das Siel nicht auf einen Pfahlrost stellen will. Letzterer mufs unter übrigens gleichen Umständen und bei gewisser Beschaffenheit des Bodens unter dem Balkensiele schon angewendet werden, während er unter dem Ständersiele noch fehlen darf.

In allen sonstigen Beziehungen hat das Balkensiel den Vorzug vor dem Ständersiele. Schon die Anlagekosten stellen sich für jenes merklich niedriger. Die Masse des Holzes, das in beiden verwendet wird, ist ziemlich dieselbe, wenn beide gleiche lichte Weite haben. Bei dem Balkensiele tritt aber der Vortheil ein, dafs die Zusammensetzung viel einfacher ist, also die Arbeit weniger kostet, und sodann kann man bei diesem ohne Nachtheil auch schwächeres und waldkantiges Holz verwenden, während beim Ständersiele sowol die Verbandstücke, als die Bohlen, aus tadellosen und starken Stämmen geschnitten werden müssen, wobei man sich gewöhnlich sogar auf Eichenholz beschränkt. Hierzu kommt noch, dafs die Unebenheiten der innern Wandflächen eines Ständersieles so starke Reibung veranlassen, dafs, nach Hunrichs, in den nächsten Schichten von 1 bis 1½ Fufs Breite gar keine Strömung eintritt. Derselbe fügt hinzu, dafs ein Ständersiel von 14 bis 15 Fufs lichter Weite nicht mehr leistet, als ein Balkensiel von 12 Fufs Weite. Die Richtigkeit dieser Behauptung wird indessen nicht näher nachgewiesen, und dürfte wohl mehr als zweifelhaft sein, vorausgesetzt, dafs die lichte Weite der Ständersiele zwischen den Ständern gemessen wird.

In der Unterhaltung hat das Balkensiel unverkennbare Vorzüge vor dem Ständersiele. Je schwächer das Holz an sich ist, um so eher mufs es bei eintretender Fäulnifs erneut werden. Die Bohlen sind daher weniger dauerhaft, als die Balken. Vorzugsweise treten die Beschädigungen aber in denjenigen Theilen der Wände ein, die am häufigsten benetzt und wieder trocken werden. Das Einziehn neuer Bohlen im Ständersiele ist aufserordentlich schwierig, und man mufs sich bei Beschädigungen, die keine weite Ausdehnung haben, damit begnügen, dafs man die schadhafte Stelle

von innen verkleidet und ein neues Gebinde davor stellt. Man kann auch ein einzelnes Gebinde ausnehmen, und dadurch den Schaden etwas vollständiger beseitigen, worauf ein oder zwei neue Gebinde eingesetzt werden. Eine gründliche Wiederherstellung ist jedoch immer nur möglich, wenn der Deich abgegraben wird, so dafs man von aufsen zur schadhaften Stelle gelangt. Bei Balkensielen verhält sich dieses anders. Sollte nämlich ein Balken verfault sein, so kann man ihn durch Abspalten vollständig beseitigen, und einen neuen, der etwas keilförmig zugeschnitten ist, wieder eintreiben, auch mittelst der Bolzen an die dahinter angebrachten Ständer befestigen, Beschädigungen der Decke sind gleichfalls in Balkensielen viel leichter auszubessern.

Später versuchte man im Oldenburgischen, die Construction der Ständer- und Balken-Siele so mit einander zu verbinden, dafs die Vorzüge beider vereinigt, und Bauwerke dargestellt wurden, die bei grofser Solidität dennoch in denjenigen Theilen, die am meisten zu leiden pflegen, leicht erneut werden konnten. Namentlich geschah dieses vor vierzig Jahren, als Burmester Deichgräf war. Fig. 43, *a*, *b* und *c* zeigt eine solche Anordnung im Grundrisse, so wie im Längen- und Quer-Durchschnitte. In dieser Weise wurden die beiden Siele in den Mündungen der Wapel und Jade erbaut, von denen bereits die Rede war. Die hier gewählte Anordnung weicht auch noch in andrer Beziehung von den bisher beschriebenen ab. Zunächst ruht nämlich das ganze Siel auf einem Pfahlroste, indem der Länge nach drei Pfahlreihen sich unter demselben hinziehn. Veranlassung dazu gab theils der Umstand, dafs die Siele in die alte Balje oder Rille gestellt werden mufsten, wo der Boden sehr lose und schlammig war, theils aber hatte man auch die Erfahrung gemacht, dafs manche ältere Siele, die sich übrigens noch in brauchbarem Zustande befanden, wegen des Sinkens des Untergrundes stark durchgebogen und dadurch so schadhaft geworden waren, dafs sie umgebaut werden mufsten. Man war damals zu der Ueberzeugung gekommen, dafs man auf dem gewöhnlichen Marschboden, der neu eingedeicht, also noch nicht vollständig comprimirt ist, überhaupt kein gröfseres Siel ohne Pfahlrost bauen dürfe. Hiernach war keine Veranlassung, die Baustelle etwas seitwärts in festeren und höheren Boden zu verlegen, was leicht möglich gewesen wäre. Aufserdem wich man auch in Beziehung auf die Thore

noch wesentlich von der älteren und bei gröfseren Sielen allgemein üblichen Anordnung ab, und versah das Siel nur mit einem Thorpaare, das in das äufsere Vorsiel aufschlug. Die Gründe dafür sind bereits oben angegeben.

Der Boden dieses Sieles unterscheidet sich von dem früher beschriebenen dadurch, dafs die Bohlen nur auf Querschwellen oder Zangen aufgenagelt sind. Sie können deshalb ohne Zweifel nicht so sicher dem Wasserdrucke widerstehn, der sie von unten trifft, aber dafür bietet die starke Spundwand unter dem Schlaggebinde auch mehr Schutz gegen das Entstehn von Wasseradern, und insofern ein Pfahlrost angewendet wurde, so war der Untergrund auch mehr comprimirt. Durch kräftiges Abrammen der zwischen die Rostschwellen und Zangen angeschütteten Erde ist aufserdem die Wasserdichtigkeit des Bodens noch vermehrt. Der Vorzug dieser Anordnung beruht darauf, dafs man, falls einzelne Bohlen schadhaft werden, dieselben sehr leicht durch andre ersetzen kann. Diese Bohlen sind 5 Zoll stark, leisten also hinreichenden Widerstand, und auf ihre Befestigung wurde grofse Sorgfalt verwendet.

Die Seitenwände bestehn theils aus Balken und theils aus Ständern. Die letzten sind auswärts mit Bohlen bekleidet. Die Erfahrung hatte nämlich ergeben, dafs die Ständer immer am meisten an denjenigen Stellen litten, die etwas über den gewöhnlichen Ebben sich befinden, weil hier der Wechsel der Benetzung und Austrocknung am häufigsten eintritt, und zur Zeit der warmen Witterung am nachtheiligsten ist. Man suchte sonach die Haltbarkeit der Ständer dadurch zu vermehren, dafs man sie nicht bis zu dieser Tiefe herabreichen liefs. Die Balkenwände, auf denen sie aufstehn, leisten theils wegen ihrer gröfsern Stärke einen kräftigern Widerstand, theils aber können einzelne schadhafte Stellen darin auch leicht ausgeschlagen und durch frisches Holz ersetzt werden.

Vier Lagen Balken bilden den untern Theil jeder Seitenwand, und die unterste Lage ist einige Zoll tief in jede Zange eingelassen und lehnt sich aufserdem gegen den Bohlenboden. Die Balken bestehn aus starkem Holze und greifen durch Spundungen in einander. Auf der obern Lage stehn nicht nur die Ständer der Gebinde, sondern auch die Bohlen auf, die sich an die Ständer lehnen. Die Gebinde oder Joche sind durch Bänder abgesteift, und durch drei Deckbalken mit einander verbunden. Indem die Ständer nichts

desto weniger sehr lose aufstehn, auch die darunter befindlichen Balken durch den Seitendruck leicht vorgeschoben werden können, so ist jedes Gebinde noch auswärts durch zwei Blind-Ständer unterstützt, die in die Köpfe jeder Zange eingelassen und mittelst starker Bolzen mit den eigentlichen Ständern, so wie auch abwechselnd mit jedem zweiten Balken verbunden sind.

Das Vorsiel, welches die Figur gleichfalls darstellt, ist in der gewöhnlichen Weise angeordnet. Der Boden desselben ruht auf Pfählen, die jedoch nicht so nahe stehn, als die Grundbalken oder Zangen liegen, vielmehr ist von den erstern nur abwechselnd einer um den andern durch drei Pfähle unterstützt. An der äufsern Seite des Vorsieles befindet sich eine Spundwand. Die Seitenwände werden durch Ständer gestützt, die in den Grundbalken verzapft, und deren Rahme durch Spannriegel gegen einander verstrebt sind. Auf den Rahm des Schlaggebindes, welches zugleich das Siel begrenzt, ist ein Geländer gestellt, das bei allen hölzernen Sielen vorzukommen pflegt, und gegen welches der Fufs des Deiches sich lehnt. Das innere Vorsiel ist sehr genau eben so wie das äufsere angeordnet, es ist nur kürzer, und wird durch niedrigere Wände eingeschlossen. Letztere sind aber nicht durch Spannbalken gegen einander verstrebt, sondern werden durch Erdanker gehalten, weil erstere den Durchgang der Schiffe verhindern würden. An das letzte Gebinde auf der innern Seite, welches wie das Schlaggebinde mit einer Schwelle versehn ist, und worin die Balkenlagen wieder verzapft und die Bohlen des Bodens befestigt sind, lehnt sich ein Schütz, das bei anhaltender Dürre eingesetzt wird, um das zu starke Abfliefsen des Binnenwassers zu verhindern.

Die so eben beschriebene Verbindung der Balken- und Ständer-Construction hat sich indessen nicht so vortheilhaft gezeigt, als man erwartete. Eines Theils gewährte sie nicht die Festigkeit der Ständersiele, und andrerseits waren auch die Reparaturen schwieriger auszuführen, als bei den Balkensielen. Man ist daher schon seit geraumer Zeit davon wieder zurückgekommen.

Um die ganze Anordnung und die Verbindung mit dem Deiche anschaulich zu machen, ist in Fig. 39 noch dasjenige Siel dargestellt, welches nach Woltman's Angabe am rechten Ufer der untern Elbe erbaut ist. *a* zeigt den Längendurchschnitt, *b* den Grundrifs, *c* den Querdurchschnitt und *d* die Ansicht von der Seeseite. Es

unterscheidet sich in mehrfacher Beziehung von der Construction, die Hunrichs empfohlen hatte. Seine Dimensionen sind nicht bedeutend, da es im Lichten nur 9 Fufs weit und 7 Fufs hoch ist. Der Boden ruht auf einem Pfahlroste, und das einzige Thorpaar befindet sich unmittelbar neben dem äufsern Vorsiele. Die Seitenwände des Siels bestehn aus starken Bohlen, welche an besonders eingerammte Pfähle genagelt sind. Letztere geben dem Siele eine grofse Steifigkeit, und verhindern sehr wirksam das Verziehn des Querprofiles, vermehren aber die Rammarbeiten wesentlich und erschweren die Reparaturen. Neben dem innern Vorsiele bemerkt man die Windevorrichtung zum Herablassen und Heben des Schützes.

Ueber den Bau massiver Siele ist wenig zu bemerken, da die Construction derselben im Allgemeinen sehr einfach ist. In den Niederlanden findet man sie häufig, und sogar häufiger, als hölzerne. Auch im Oldenburgischen kommen sie nicht selten vor. Mit der Beschreibung der letzteren soll wieder der Anfang gemacht werden.

Ob die massiven Siele aus Werkstücken, oder aus gebrannten Steinen erbaut werden, macht keinen wesentlichen Unterschied. Beide Arten des Materials sind sowol zu Hunrichs Zeiten, als auch später angewendet worden, dagegen verdient erwähnt zu werden, dafs auch diese Siele zuweilen ohne Pfahlroste erbaut sind, und alsdann bei dem Nachgeben des Untergrundes und der verschiedenartigen Belastung durch den Deich zu brechen pflegen. Die Trennung erfolgt indessen immer nach der Quere und sonach behält jeder einzelne Theil, obwohl er sich von den anstofsenden löst, dennoch in sich seinen Zusammenhang. Der Erfolg ist also kein andrer, als wenn man den überwölbten Canal ursprünglich schon aus einzelnen Stücken zusammengesetzt hätte, von denen ein jedes sowol dem Drucke von oben, als von den Seiten hinreichenden Widerstand leisten konnte. Namentlich sollen auch diejenigen Theile, worin die Thore sich befinden, bei dieser Trennung weder an Festigkeit noch an Dichtigkeit des Schlusses leiden, und sonach erfüllen diese Siele, wenn sie auch sehr auffallende Querrisse zeigen, dennoch ihren Zweck. Es darf kaum erwähnt werden, dafs man nichts desto weniger bei Neubauten solche Zufälligkeiten möglichst vermeiden mufs, weil die Gefahr sehr nahe liegt, dafs dieselben zu starken Durchquellungen Veranlassung geben, auch wohl die Trennungen neben die Wendenischen und Schlagschwellen treffen und alsdann

die Beweglichkeit und den guten Schluſs der Thore hindern könnten. Dieses ist der Grund, daſs in neuerer Zeit niemals ein massives Siel ohne Pfahlrost erbaut wird. Im Allgemeinen kann man diese Vorsicht nur billigen, aber, wie bereits erwähnt worden, tritt alsdann der Uebelstand ein, daſs der Deich eine sehr verschiedenartige Unterlage erhält. Derjenige Theil desselben, der auf dem Siele ruht, kann sich nur wenig setzen, der daneben befindliche drückt sich dagegen in den nachgebenden Untergrund tiefer ein. Hierdurch entsteht eine Trennung im Deiche selbst, welche sich durch seine ganze Breite erstreckt, und zu noch gröſseren Gefahren Veranlassung geben kann, als wenn das Siel mehrere Querbrüche erlitten hätte. Wenn man daher an einer Stelle, wo bisher noch kein Deich gelegen hat, also der Untergrund noch nicht comprimirt ist, ein massives Siel sicher fundiren will, so ist es dringend nöthig, die Baustelle so auszuwählen, daſs sie auf recht festen Boden trifft, der unter der spätern Belastung wenigstens nicht stark eingedrückt wird.

Fig. 44 zeigt den vordern Theil eines auf Pfählen ruhenden massiven Sieles und zwar nach der Anordnung, die Hunrichs wiederholentlich gewählt und in seinem Werke beschrieben hat. Das erste Thorpaar schlägt in das Vorsiel auf, und dieses ist in sofern auch unbedingt zulässig, als das Gewölbe unmittelbar dahinter hinreichend stark ist, um den Durchbruch des Wassers zu verhindern, falls der Fuſs der Erdschüttung darüber fortgespült werden sollte. Dieses Gewölbe bildet, indem die Steine bis zum Schlussteine immer weiter vortreten, den obern Drempel, an welchen die Thore anschlagen. Diese Einrichtung bietet keine Schwierigkeit, insofern, wie bereits erwähnt, die Stemmung unter einem sehr stumpfen Winkel erfolgt. Die äuſsere Stirn des Gewölbes trägt zugleich die starke Brustmauer, an welche der Fuſs der Erdböschung sich anlehnt.

Die Bildung der Kammer für das innere Thorpaar bedingt augenscheinlich eine wesentliche Abweichung von der einfachen Construction des überwölbten Canales, wenn man nicht die lichte Weite und Höhe des letztern bedeutend beschränken und sowol die Widerlager, als auch das Gewölbe soweit vortreten lassen will, daſs gegen beide der nöthige Anschlag für die Thore gewonnen wird. Hunrichs hat das sehr passende Auskunftsmittel angewendet, daſs er das Tonnengewölbe über der Thorkammer durch eine eingespannte

Kappe ersetzt. Sowol vor als hinter dieser Thorkammer sind die Widerlager verstärkt, auch sind die anschliefsenden Gewölbe mit niedrigen Brustmauern versehn. Diese Brustmauern bilden die Widerlager für die Kappe, und bis über die letztern reichen die beiden Seitenmauern herauf, welche, wie der Grundrifs Fig. 44 *a* zeigt, gegen die Hauptmauern des Sieles etwas zurückspringen und auf diese Art die Thor-Nischen darstellen.

Wesentlich verschieden hiervon und weit weniger zweckmäfsig ist die Anordnung der Siele in den Niederlanden. Die äufsern Thore derselben schlagen zwar auch gegen das Gewölbe des Sieles, dieses Gewölbe setzt sich aber in der ganzen Länge ohne Unterbrechung und in gleicher Höhe fort, es erhält nur über der innern Thorkammer eine etwas gröfsere Spannweite, und indem die Widerlagsmauern zu beiden Seiten zurücktreten, bilden sich die Thornischen, die jedoch nicht entfernt die volle Höhe der Sielöffnung haben. Die innern Thore müssen hiernach viel niedriger gehalten werden, und sie sind häufig wie gewöhnliche Schleusenthore eingerichtet und aufgehängt, und lehnen sich, wenn sie geschlossen sind, nur an die untern Schlagschwellen an. In diesem Falle können sie nicht unmittelbar zur Abhaltung des Hochwassers benutzt werden, sie dienen vielmehr nur zur Vertheilung des Wasserdruckes und ihr Zweck beschränkt sich darauf, die äufsern Thore zu unterstützen. Vielfach giebt man ihnen indessen auch obere Schlagschwellen, und zwar hölzerne. Dieselben sind eben so wie die untern zusammengesetzt. Ihre Verbindung besteht, übereinstimmend mit den Drempeln gewöhnlicher Schiffsschleusen, aus dem Mittelbalken, in den die beiden Schlagschwellen mit Zapfen und Versatzung eingreifen, und diese werden noch durch einen kurzen Binder an den frei liegenden Enden gegen den Mittelbalken gestützt. Der letztere wird mit seinen Enden in den Seitenmauern oder Widerlagern unmittelbar unter dem Anfange des Gewölbes vermauert. Bei weiteren Oeffnungen hängt man ihn selbst, oder auch wohl zugleich den Binder noch an eiserne Zugstangen, die auf der obern Fläche des Gewölbes mit ihren breiten Köpfen auf Unterlage-Scheiben ruhn. Der Raum zwischen dem Mittelbalken und den Schlagschwellen wird demnächst durch Bohlenstücke geschlossen und gedichtet. Um aber auch die Oeffnung zwischen dem Mittelbalken und dem Gewölbe zu schliefsen, wird auf den Ersteren eine Mauer gestellt, die sich

möglichst scharf an das Letztere anschliefst. In dieser Weise wird der Durchflufs des Wassers über den innern Thoren vollständig gesperrt, und dieselben können allein einen hohen Wasserstand vom Binnenlande abhalten. Fig. 47 *b* und *c* lassen die Anordnung erkennen. Dieselbe wird in den Niederlanden vielfach gewählt, doch dürfte sie der oben beschriebenen wohl unbedingt nachstehn.

§. 19.
Die Entwässerung des Rheinlandes durch die Siele bei Catwijk.

Als Beispiel von Niederländischen Entwässerungs- und Siel-Anlagen neben der See wird eines der gröfsten Werke dieser Art gewählt, welche jemals zur Ausführung gebracht sind. Dieses ist die Entwässerung des sogenannten Rheinlandes in der Provinz Süd-Holland. Das Rheinland erstreckt sich von der Nordsee bis gegen Utrecht, und reicht im Süden bis nahe an die Maas und den Leck, wie im Norden stellenweise bis gegen das Y. Sein Flächeninhalt mifst 123500 Bunders oder 22 Deutsche Quadratmeilen.

In frühern Zeiten wurde es durch den Rhein oder wenigstens durch einen Arm desselben durchströmt und dieser mündete ohnfern Leyden in die Nordsee. Die Aenderungen, welche im Laufe der Zeit der Rhein mit seinen Nebenarmen erfahren hat, sind bereits im zweiten Theile dieses Handbuches (§. 72) angedeutet. Das alte Bette des Rheins ist aber noch in seiner ganzen Länge bis an die Dünenkette, welche die Nordsee begrenzt, vorhanden, und wird theils für die Binnenschiffahrt und theils zur Entwässerung benutzt. Es beginnt bei Wijk bij Duurstede, wo eine Schiffsschleuse es von dem Leck trennt, welche die Einströmung des Wassers aus dem letzteren dauernd verhindert. Die sehr niedrige Lage des Rheinlandes macht diesen Abschlufs nothwendig, selbst wenn es möglich gewesen wäre, die Mündung in die Nordsee zur Abführung grofser Wassermassen hinreichend geöffnet zu erhalten. Von dem Leck bis Utrecht nennt man den alten Rheinlauf den Krummen Rhein, und weiterhin bei Leyden vorbei bis zum Dorfe Catwijk aan den Rhijn, den alten Rhein. Die letzte Strecke, die sich bis gegen die Dünen bei Catwijk aan Zee hinzieht, und so schmal ist, dafs sie selbst für kleine Schiffahrt nicht benutzt werden kann, heifst endlich das Mallegat.

Die Mündung in die See war bis zum Anfange dieses Jahrhunderts vollständig gesperrt durch die Dünenkette, die obwohl stellenweise stark bedroht, sich doch ohne Unterbrechung von der Mündung der Maas bis zur nördlichsten Spitze von Nord-Holland auf 17 Meilen Länge hinzieht. Es fand sonach keine unmittelbare Entwässerung nach der Nordsee statt. Das Rheinland entwässerte damals zum geringsten Theile durch die Jjssel bei Gouda in die Maas, doch ist die Schleuse bei Gouda so enge und auch im Uebrigen sind die Verhältnisse hier so ungünstig, dafs auf diesem Wege immer nur sehr wenig Wasser abgeführt werden konnte. Wichtiger waren die vier Siele bei Spaarndam, nördlich von Haarlem, vorzugsweise wurde aber das Quell- und Regenwasser des Rheinlandes in das Haarlemmer Meer abgeführt, und dieses hatte wieder durch die drei Siele bei Halfwege, zwischen Haarlem und Amsterdam seinen Abflufs nach dem Y.

Die Ableitung des Wassers erfolgte daher auf einem übermäfsig langen Umwege. Das Rheinland grenzt unmittelbar an die Nordsee, und dennoch wurde das Wasser durchschnittlich mehrere Meilen bis zum Harlemmer Meere, und aus diesem durch das Y und die Süder-See abgeführt. Dieser Uebelstand war um so nachtheiliger, als das Y bei gewöhnlichen Ebben nur etwa 14 Zoll unter die mittlere Fluthhöhe vor Amsterdam herabsinkt, wogegen die Nordsee bei Catwijk $2\frac{1}{2}$ Fufs unter die letztere bei gewöhnlichen Ebben sich senkt. Es war also nahe $1\frac{1}{2}$ Fufs an absolutem Gefälle verloren, und zugleich der Weg übermäfsig verlängert, woher das relative Gefälle sich noch mehr verminderte. Aufserdem kam noch der sehr ungünstige Umstand hinzu, dafs bei nördlichen und in geringerem Maafse auch bei östlichen Winden das Wasser im Y vor den Sielen bei Halfwege stark aufgetrieben, im Harlemmer Meer dagegen gesenkt wurde, woher beide alsdann gleiche Höhe hatten und oft Monate hindurch gar keine Entwässerung auf diesem Wege erfolgen konnte.

Unter diesen Verhältnissen lag der Gedanke sehr nahe, die alte Rheinmündung behufs der bessern Entwässerung dieser grofsen Landfläche wieder zu eröffnen. Schon im Jahre 1687 wurde dieses vorgeschlagen und noch dringender wurde es durch Lulofs in der Mitte des vorigen Jahrhunderts empfohlen, der zu diesem Zwecke Wasserstands-Beobachtungen machen liefs und zusammenstellte, und

durch Nivellements verband, woraus sich der grofse Nutzen solcher Anlage augenfällig ergab. Die Ausführung unterblieb indessen damals, weil man von den grofsen Kosten abgesehn, an dem Erfolge zweifelte und noch mehr, weil man nicht den gröfsten Theil der ganzen Provinz Holland der Gefahr eines Einbruches der Nordsee aussetzen wollte, indem seine Sicherheit allein auf der Festigkeit eines Sieles beruhen würde.

Im Jahre 1802 veröffentlichte A. P. Twend ein Project zu solcher Canal- und Sielanlage, das einigermaafsen mit dem später ausgeführten übereinstimmte. Dieses nahm so sehr die allgemeine Aufmerksamkeit in Anspruch, dafs der Vorstand des Deichverbandes für Rheinland auf den Rath von Brünings die Beurtheilung der Schrift dreien namhaften Ingenieuren, nämlich F. W. Conrad, A. Blanken Jansz. und S. Kros übertrug. Dieselben gaben am 2. April 1803 ein Gutachten*) ab, dem sie zugleich ein etwas verändertes vollständiges Project nebst Kosten-Anschlag beifügten, und dessen Ausführung dringend empfahlen. Obwohl auch damals wieder manche Bedenken laut erhoben, und namentlich auf die grofse Gefahr für die ganze Niederung hingewiesen wurde, wenn man den natürlichen, sehr sichern Schutz der Dünen an einer Stelle unterbrechen und die Sicherheit des Landes von einem Siele an offener See abhängig machen wollte, so überzeugte man sich doch andrerseits, dafs der stets zunehmenden Versumpfung endlich eine Grenze gesetzt werden müsse. Das Project wurde genehmigt und in den Jahren 1804 bis 1807 mit einigen Abänderungen ausgeführt.

Fig. 45 zeigt die Situation bei Catwijk, es ist jedoch in dieser Zeichnung die gegenwärtige Anlage mit den Verbesserungen, die viel später angebracht wurden, dargestellt. Ursprünglich wurde der Canal nur mit dem Rhijn in der Nähe von Catwijk a. d. R. in Verbindung gesetzt und dieser Canal selbst, so wie auch seine Schleusen erhielten geringere Dimensionen.

Twend hatte vorgeschlagen, auch den letzten Theil des alten Rheinlaufes, nämlich das Mallegat zum Canale zu benutzen. Die Commission widerrieth dieses indessen, insofern zunächst die Breite

*) Rapport wegens het gedaan Onderzoek omtrent eene Uitwatering te Catwijk op Zee. Eine grofse Anzahl Zeichnungen, so wie auch vier Beilagen waren demselben hinzugefügt.

und Tiefe desselben so geringe waren, dafs nur eine unbedeutende Ermäfsigung der Erdarbeiten dabei in Aussicht stand. Sodann bemerkte sie, dafs das Terrain daneben besser bebaut uud daher beim Ankaufe viel theurer wäre, und endlich machte sie auf die grofse Schwierigkeit und selbst auf die Gefahr für das Dorf aufmerksam, wenn man den Canal durch dieses hindurch führen wollte. Sie verlegte daher die Mündung an dieselbe Stelle, wo sie auch gegenwärtig sich befindet.

Die Commission schlug jedoch vor, den Canal von der See ab nur bis zu dem Punkte zu führen, wo das Mallegat sich mit dem alten Rhein verbindet, und von hier ab den letzteren schon als Zuleitungs-Graben zu benutzen. Hiervon wurde indessen bei der Ausführung abgewichen und der Canal ist bis oberhalb Catwijk a. d. R., also etwa 300 Ruthen weiter aufwärts geführt, wo er sich besser an den Rheinlauf anschliefst, und wodurch zugleich die Gefahr für das benannte Dorf abgewendet ist, welches sonst an dem stark concaven Ufer bei heftiger Entwässerung sehr bedroht sein würde. Dieser Canal erhielt ursprünglich in dem Horizonte von Amsterdamer Peil (gewöhnlich *AP* bezeichnet) oder in der ordinären Flüthhöhe vor Amsterdam nur die Breite von 20 Ellen oder 63 Fufs 9 Zoll.

Um einem Durchbruche der See vorzubeugen, wurden zwei überaus feste Siele, nämlich *A* und *B* hinter einander erbaut, von denen jedes allein bei den höchsten Sturmfluthen volle Sicherheit bot.

Sodann war noch das Bedenken erhoben, dafs die Nordsee von Jahr zu Jahr weiter in das Land dringe, indem die Dünen immer zurückweichen, und sonach werde in kurzer Zeit das vordere Siel frei am Strande liegen, und wenn es alsdann auch noch zu halten sein sollte, so werde das Hochwasser zur Seite es umfliefsen und in das Land eindringen. Dieser Umstand forderte allerdings eine nähere Untersuchung. Es ergab sich durch Zusammenstellung der sichersten Nachrichten, dafs in dem Zeitraume von 1571 bis 1708 die See an dieser Stelle um 300 Fufs, ebensoviel auch von 1708 bis 1766, von 1766 dagegen bis 1802 nur um 54 Fufs vorgedrungen sei. Das Ufer wich also in diesen drei Perioden durchschnittlich um 2,2 Fufs, 5,2 Fufs und 1,5 Fufs zurück. Die Commission machte darauf aufmerksam, dafs diese Resultate keine Besorgnifs begründen könnten, in sofern an andern Stellen, die einem viel stärkeren

Angriffe ausgesetzt wären, demselben sehr sicher durch Buhnenanlagen eine Grenze gesetzt sei. Die beiden Werke, welche zur Seite des Canales in die See treten, würden ohnfehlbar den Strand hinreichend schützen und sein weiteres Zurückweichen verhindern. Diese Ansicht ist vollständig durch die Erfahrung bestätigt, und der Strand hat sich sogar auf der südlichen Seite seewärts ausgedehnt, auch sind die Dünen nicht zurückgewichen, obwohl auf ihre Erhaltung wenig Sorge verwendet wird. Es ist nämlich sogar gestattet, sie beliebig zu betreten, und die Einwohner von Leyden machen hiervon, wie ich in diesem Jahre bemerkte, einen sehr ausgedehnten Gebrauch.

Endlich wurde noch die Besorgniſs ausgesprochen, daſs die Binnenschiffahrt, namentlich auf der Spaarne leiden werde, wenn dieser Fluſs seine bisherige Speisung verliert. Es lieſs sich aber leicht nachweisen, daſs die befürchtete Senkung des Wasserstandes ganz unbedeutend sei.

Die Siele oder Schleusen wurden übereinstimmend mit den Vorschlägen der Commission ausgeführt. Die vordere, in Fig. 45 mit *A* bezeichnete ist unbedingt dem stärksten Angriffe ausgesetzt. Aus diesem Grunde werden ihre fünf ziemlich schmale Oeffnungen nicht durch Thore, sondern durch sehr feste Schütze geschlossen, die auf beiden Seiten einen höhern Wasserstand halten können. Bei heftigen Stürmen und namentlich während Sturmfluthen läſst man diese Schütze herab, um die dahinter liegende zweite Schleuse jeder Gefahr zu entziehn. Dasselbe geschieht auch, wenn man die Canalmündung spülen will und zu diesem Zwecke die vordere Canalstrecke mit Fluthwasser gefüllt hat. Gewöhnlich sind die Schütze indessen geöffnet und bleiben bei ruhiger Witterung Monate hindurch unberührt.

Die zweite Schleuse *B* ist das eigentliche Siel, doch darf man diese Benennung ihr kaum beilegen, insofern sie nicht überdeckt und der Deich nicht über sie fortgeführt ist. Sie hat in jeder Oeffnung zwei Paar Fluththore hinter einander, auf welche der Druck bei hohem Stande der See vertheilt wird. Ein drittes Thorpaar in jeder Oeffnung war nach dem Binnenlande gekehrt, um die Ausströmung, wenn es nöthig ist, zu unterbrechen, auch befand sich in jedem Flügel der letzteren ein Spülthor. Diese dritten Thore existiren jedoch nicht mehr.

Endlich ist noch eine dritte Schleuse *C* hinzugefügt, die eigentlich nur eine überwölbte und mit Schlagschwellen versehene Brücke ist. Jede Oeffnung derselben kann durch ein grofses, nur aus einem Flügel bestehendes Thor geschlossen werden, das sich flach an die Stirnfläche des Bogens lehnt. Diese Thore schlagen seewärts auf und haben den Zweck, die weitere Verbreitung des Seewassers in dem Canale zu verhindern, so oft man solches behufs der Spülung in die vorderste Strecke zur Zeit des Hochwassers einläfst.

Was die Höhen-Verhältnisse betrifft, so ist zu erwähnen, dafs die gewöhnlichen Fluthen bei Catwijk bis 3 Fufs über Amsterdamer Peil steigen, die gewöhnlichen Ebben dagegen $2\frac{1}{4}$ Fufs darunter sinken. Bei Sturmfluthen erhebt sich der Wasserspiegel ohne Rücksicht auf die Höhe der Wellen bis auf 10 auch wohl auf $10\frac{1}{2}$ Fufs. Die Düne stieg in ihrem natürlichen Zustande in der Richtung des Canales zwischen den Schleusen *A* und *B* bis $37\frac{1}{2}$ Fufs über Amsterdamer Peil an, obwohl sie gerade hier sich auffallend einsenkte. Viel geringer war die Höhe der flachen Düne im Dorfe Catwijk, die stellenweise nur 18 Fufs über Amsterdamer Peil sich erhob. Die Terrainhöhe neben der Schleuse *B* mifst 12 Fufs, senkt sich aber von hier ziemlich gleichmäfsig und beträgt bei der Schleuse *C* nur noch 3 bis 4 Fufs. Dieselbe Höhe setzt sich in der Richtung des Canales bis zu dem Noordwijker Wege fort, der von Catwijk a. d. R. in nördlicher Richtung abgeht, und von hier tritt der Canal in das niedrige Terrain, welches durchschnittlich in der Höhe des Amsterdamer Peils liegt. Der Wasserstand im alten Rhein darf die Höhe von 1 Fufs unter Amsterdamer Peil nicht übersteigen, weil sonst die Entwässerung nicht genügen würde.

Der Canal liegt mit seiner Sohle auf — 7 Fufs *AP*, die Fachbäume der Schleusen dagegen 9 Zoll höher, also auf — 6 Fufs 3 Zoll. Zur Zeit der Springfluthen sinkt die Nordsee hier bis auf — 2 Fufs 6,6 Zoll herab, so dafs der Wasserstand auf den Fachbäumen alsdann nur 3 Fufs 8,4 Zoll beträgt. Dieses Maafs ist vergleichungsweise gegen andre Schleusen sehr geringe, denn die Schlagschwellen der Siele bei Spaarndam liegen auf — 11 Fufs 9,5 Zoll, während das niedrigste Wasser im Y viel höher bleibt, als das der Nordsee.

Die der See zugekehrte Stirnmauer der Schleuse *A* hat die Höhe + 19 Fufs, und steigt theils selbst und theils in der anschliefsenden

Verdachung bis + 26 Fuſs an. Indem nun die höchsten Fluthen sich nur bis + 11 Fuſs erheben, so ist der Eintritt derselben und sogar der Wellen sicher verhindert. Auf beiden Seiten setzen sich Flügelmauern in 18 Fuſs Höhe bis unter die Dünen fort. In der Schleuse *B* liegen die Mauern auf + $16\frac{3}{4}$ Fuſs und die vorderen Fluththore auf + 15 Fuſs. Der darüber führende Weg liegt auf + 17 Fuſs.

Zur Ermittelung der nöthigen Durchfluſsöffnungen der drei Schleusen untersuchte die Commission die Profile der Wasserläufe, welche bei Catwijk abgeleitet werden sollten, und zwar wurden diese sämmtlichen Profile unter dem Horizonte von 1 Fuſs unter Amsterdamer Peil gemessen. Es ergab sich, daſs für den bezeichneten Wasserstand allein der alte Rhein und das Rheinische Flieſs in Betracht kommen. Letzteres ergieſst sich bei Catwijk in den erstern. Der von Norden herabkommende Canal, die Maandagsche Watering genannt, lag dagegen so hoch, daſs er in trockner Jahreszeit gar keine Zuflüsse aufnahm. Die Summe der Profil-Oeffnungen der beiden ersten Wasserläufe und zwar an solchen Stellen, wo sie ziemlich beengt waren, stellte sich auf 264 Quadratfuſs heraus. Eine gleiche Oeffnung wurde für die Schleusen bestimmt. Die Höhe der Schlagschwellen und Fachbäume setzte die Commission dagegen auf 6 Fuſs unter Amsterdamer Peil, damit selbst bei niedrigem Wasserstande noch ein kräftiger Abfluſs erfolgen könne. Hiernach ergab sich für den angenommenen Wasserstand in den Schleusen die Höhe des Durchfluſs-Profiles gleich 5 Fuſs, und folglich die Gesammtbreite desselben 52 Fuſs 10 Zoll. Das Hauptsiel erhielt 3 Oeffnungen von 18 Fuſs, die äuſsere Schleuse *A* dagegen 5 Oeffnungen von 12 Fuſs Weite, und die innere Schleuse *C* wieder 3 Oeffnungen von 20 Fuſs.

Diesen Theil der Untersuchung hat die Commission nicht so vollständig geführt, als er es verdiente, und es muſs auffallen, daſs eine so wichtige und so kostbare Anlage zur Ausführung gebracht ist, ohne daſs man sich von der Gröſse des erwarteten Effectes eine klare Vorstellung zu machen versucht und die Wassermenge ermittelt hatte, die bei den verschiedenen Wasserständen und Witterungs-Verhältnissen abgeführt werden sollte.

Ueber die einzelnen Bauwerke und Ausführungen dieser Ent-

wässerungs-Anlagen müssen noch einige Mittheilungen gemacht werden.

Die beiden Höfter, welche die Mündung einschliefsen, wurden etwa 36 Fufs breit aus Senkstücken erbaut und mit gröfseren Steinen sorgfältig abgedeckt. Sie sind 40 Ruthen lang, und im Lichten 25 Ruthen von einander entfernt. Ihre Köpfe erheben sich nur wenig über das gewöhnliche niedrige Wasser, die Wurzeln liegen dagegen etwa 1 Fufs über dem gewöhnlichen Hochwasser. Die Steindecke bestand Anfangs nur aus flachen Steinen von mäfsiger Stärke, die von Flechtzäunen umschlossen waren. Später hat man dagegen Bankete von 18 Fufs Breite dagegen gelehnt und die Krone flach gewölbt und mit schweren Brabanter Steinen, zum Theil auch mit grofsen Basalten abgepflastert. Aufserdem sind die Fugen in der Krone bis gegen das Ufer mit Mörtel ausgestrichen. Nichts desto weniger bemerkte ich, als ich in diesem Jahre (1862) die Anlage sah, dafs das Pflaster, sowol binnenseitig als vor den Köpfen an ganz frische Flechtzäune sich lehnte, woraus sich also ergiebt, dafs die Beschädigungen und Reparaturen keineswegs aufgehört haben.

Von besonderer Wichtigkeit ist die äufsere Schleuse *A*, deren Flügel sich mittelbar durch die davor angebrachte Steinböschung an jene Höfter anschliefsen. Fig. 46, *a*, *b* und *c* stellt diese Schleuse im Grundrisse, in der Ansicht von vorn und im Querschnitte dar, doch stimmt die Ausführung nicht vollständig mit diesen aus dem Berichte der Commission entlehnten Zeichnungen überein. Der vordere Theil, der die Schütze und deren Befestigung und Aufstellung umfafst, hat keine Aenderung erfahren, aber die Pfeiler setzen sich hinter der Brücke etwa um 10 Fufs weiter fort, als die Zeichnung angiebt, und zwischen der Brücke und den nächsten Dammfalzen dahinter waren früher noch Spülthore eingehängt, deren Aufstellung aufserdem die Anbringung besonderer Fachbäume und die Veränderung des Grundwerkes nöthig machte. Diese Thore, welche zur Spülung der Mündung zwischen jenen vortretenden Molen dienen sollten, sind indessen später wieder beseitigt, weil die Schütze schon denselben Zweck erfüllen und namentlich nur das mittlere geöffnet werden durfte, um einen kräftigen Strom bis zum tieferen Wasser darzustellen.

Die Stirnpfeiler erheben sich 19 Fufs über Amsterdamer Peil,

die vier Mittelpfeiler dagegen nur auf 13 Fufs. Die Oeffnungen sind 12 Fufs weit und jede derselben ist auf der äufsern Seite durch einen 10 Fufs breiten Bogen überspannt, dessen Scheitel in der untern Fläche $7\frac{1}{2}$ Fufs über Amsterdamer Peil liegt. Diese Bogen sind bis zur Höhe der Stirnpfeiler voll übermauert, und das Mauerwerk steigt neben den Schützen noch höher an, und bildet eine Verdachung, von welcher das aufspritzende Wasser leicht abfliefsen kann. Durch diese grofse Mauermassen wird die Kraft der gegenschlagenden Wellen gebrochen. Auf der Binnenseite schliefsen sich an die Falze, worin die Schütze sich bewegen, wieder andre Bogen an, deren Scheitel auf 11 Fufs *AP* liegen. Diese letzten Bogen bilden zugleich eine Brücke. Das Mauerwerk ist aus gebrannten Steinen ausgeführt, in den Ecken und neben den Dammfalzen aber mit grofsen Werkstücken verkleidet. Aufser den Falzen für die Schütze befinden sich in jedem Pfeiler, wie die Figur zeigt, noch vier Dammfalze, worin bei Reparaturen, oder wenn die Schütze brechen sollten, sowol auf der See- als auf der Landseite zwei Reihen Dammbalken eingelegt werden können.

Die Construction des Schleusenbodens ergiebt sich mit hinreichender Deutlichkeit aus den Figuren und stimmt mit der in den Niederlanden üblichen Anordnung überein. Zu erwähnen ist nur, dafs man aus Besorgnifs vor den Zerstörungen durch den Seewurm den ganzen hölzernen Boden dieses Bauwerkes, soweit derselbe nicht übermauert ist, mit Kupferblech überdeckt hat, was auch im Grundrisse angedeutet ist. Diese Figur stellt übrigens in den verschiedenen Oeffnungen verschiedene horizontale Durchschnitte dar.

Der wichtigste Theil in diesem Bau ist der Verschlufs der Oeffnungen durch die Schütze. Dieselben sind $12\frac{1}{2}$ Fufs hoch und bestehn aus hölzernen Rahmen, worin sich fünf horizontale Querriegel befinden. Diese sind mit $2\frac{1}{2}$zölligen Bohlen verkleidet. Wenn sie geschlossen sind, so stehn sie unten in Falzen, die in den starken Fachbäumen angebracht sind, zu beiden Seiten ruht jedes Schütz in Mauerfalzen, und oben lehnen sie sich wieder, sowol vorn, als hinten, an starke Balken, die in die Pfeiler eingreifen. Indem aber diese Balken und die Oberkanten der Schütze noch nicht bis zu den Scheiteln der Gewölbe reichen, so würden bei heftiger Bewegung des Meeres die Wellen noch darüber fortschlagen, und Beschädigung der Canalufer veranlassen. Um dieses zu verhindern,

sind auf jene Balken Mauern gestellt, von denen die vordern sich an die Stirnen der ersten Bogen, die hinteren aber an die innern Flächen der Brückenbogen stumpf anschliefsen. Man würde bei uns eine solche Construction kaum bei gewöhnlichen Bauten und gewifs nicht bei einem so wichtigen Werke gut heifsen: in den Niederlanden, auch in England und Frankreich ist man indessen in dieser Beziehung weniger besorgt, und man darf dabei auch nicht übersehn, dafs diese Mauern, falls sie schadhaft werden sollten, leicht erneut werden können. In der beschriebenen Art lassen sich die Oeffnungen vollständig verschliefsen, die Wellen aus der See werden daher vom Canale ganz abgehalten, und dieses ist der Hauptzweck der ersten Schleuse. Zur Abhaltung des Hochwassers dient dieses Bauwerk nur in geringem Maafse, denn ohnerachtet der Spundwände, welche den Boden und die nächsten Umgebungen sichern sollen, dringen die Quellungen überall durch den Sand hindurch, und bei hohen Fluthen füllt sich die erste Canalstrecke bis nahe an den Horizont des äufsern Wasserspiegels an. Das Hochwasser mufs daher durch die zweite Schleuse vom Binnenlande abgehalten werden.

Zum Oeffnen der Schütze ist jedes derselben mit zwei gezahnten Stangen versehn, die in zwei Getriebe an einer gemeinschaftlichen Achse eingreifen. An dieser Achse befindet sich ein Stirnrad, das in ein zweites Getriebe greift, und die Achse des letztern hat an jeder Seite eine Curbel und aufserdem eine Hornhaspel. Vier Mann können mittelst der Curbeln jedes Schütz leicht heben, wenn der Wasserstand auf beiden Seiten derselbe ist. Bei einem geringen Ueberdrucke von der einen und der andern Seite müssen die Hornhaspeln zu Hülfe genommen werden. Wenn dagegen der Binnen-Wasserstand bedeutend höher als der äufsere ist, oder umgekehrt, so genügt die beschriebene Vorrichtung noch nicht, um die Bewegung durch vier Mann zu veranlassen, und bei der isolirten Lage der Schleuse kann man nicht immer darauf rechnen, eine gröfsere Mannschaft schnell genug herbeizuschaffen. Aus diesem Grunde ist das Schütz in der mittleren Oeffnung noch mittelst zweier Ketten mit einem sehr schweren Gegengewichte verbunden. Letzteres erleichtert seine Bewegung, und sobald es gehoben ist, läfst man zunächst das Wasser aus der ersten Canalstrecke abfliefsen, ehe man die andern vier Schütze zieht. Der starke Strom, der in

diesem Falle sich bildet, trägt wesentlich zur Aufräumung der Canal-Mündung bei, und aus diesem Grunde konnten auch ohne Nachtheil die Spülthore beseitigt werden. In neuerer Zeit hat man hierbei noch die Aenderung eingeführt, dafs das mittlere Schütz in zwei Theile zerlegt ist, von denen der obere stumpf auf dem untern steht, und besonders gezogen werden kann. Dieses geschieht, wenn man die Canal-Mündung spülen will, und das Hochwasser zu diesem Zwecke in die vordere Strecke, bis zur Schleuse *C* eingelassen wird. Indem nämlich der Sand grofsentheils neben dem Boden bleibt, so ist es von Wichtigkeit, die untern Wasserschichten vom Canale abzuhalten, und man zieht daher nur die obere Hälfte des Schützes.

Die erste Canalstrecke, die 120 Ruthen lang ist, liegt ganz in den Dünen. Man mufste bei ihrer Anlage nicht allein die leichten Ufer gegen Abbruch durch die Strömung und den Wellenschlag, der sich im Canale selbst bildet, sichern, sondern aufserdem auch das Hineinfliegen des losen Dünensandes verhindern. Zu diesem Zwecke sind die Ufer bis zur vollen Höhe der Dünen flach abgeböscht und mit mehrfachen Banketen versehn, aufserdem aber mit Erde und Rasen bedeckt. Die Böschungen haben ungefähr fünffache Anlage, und der Rasen war gut angewachsen. Ueberdies hatte man Anfangs auf etwa 200 Ruthen Länge sowol nord- als südwärts die Dünen planirt und vollständig mit Sandgräsern bepflanzt, die also allen fliegenden Sand auffingen und ihn gegen späteres Forttreiben schützten. Dafs eine sehr sorgfältige Unterhaltung solcher Anlage erforderlich ist, und geringe Beschädigungen bei Stürmen leicht eine grofse Ausdehnung annehmen, wird bei Gelegenheit des Dünenbaues näher erörtert werden. Diese Canalstrecke erhielt ursprünglich in dem Horizonte von Amsterdamer Peil die Breite von 80 Fufs. Die Seitenwände hatten bis 2 Fufs darunter dreifache und von hier bis zur Sohle ein und einhalbfache Anlage. Die Sohlenbreite betrug 55 Fufs.

Die zweite Schleuse *B* bildet das eigentliche Siel, welches sowol den hohen Wasserstand der See von dem Binnenlande abhält, als auch bei den Ebben, so oft diese unter das Niveau des Canals herabsinken, zur Auswässerung dient. Der Baugrund unter demselben ist ein fest abgelagerter, sehr zäher Klai, der also vollkommene Sicherheit gegen das Durchquellen des Wassers bietet, nur

die obern Lagen waren stark sandhaltig, doch gaben dieselben keineswegs zu Besorgnifs Veranlassung, da sie theils noch so viele Thontheilchen enthielten, dafs eine versuchsweise ausgehobene Grube mit senkrechten Seitenwänden und ohne Absteifung längere Zeit hindurch sich unversehrt erhielt, theils aber mufsten schon wegen der erforderlichen Tiefe des Sielbodens diese loseren Schichten beseitigt werden.

Dieser Bau ist nicht als eigentliches Siel behandelt, insofern man den kurzen Deich, der die beiderseitig belegenen Dünen mit einander verbindet, nicht darüber fortführte, vielmehr erhielten die drei Oeffnungen keine Ueberdeckung, und es wurde nur eine massive Brücke darüber gespannt. Der Grund, weshalb man diese Anordnung wählte, die ohne Zweifel die Anlage etwas erschwerte, war nur der Wunsch, alle Theile des Baues so frei aufzustellen, dafs sie jederzeit mit Sicherheit und bequem untersucht werden konnten. Bei dieser Schleuse ist das von der Commission aufgestellte Project ohne wesentliche Aenderung zur Ausführung gekommen.

Fig. 47, *a*, *b* und *c* zeigt diese Schleuse im Grundrisse, in der Ansicht von der Seeseite und im Durchschnitte. Im Grundrisse sind aber wieder zur Verdeutlichung der Construction die horizontalen Durchschnitte in verschiedene Höhen gelegt. Ursprünglich wurden, wie die Figuren angeben, drei Oeffnungen, jede von 18 Fufs lichter Weite dargestellt. Die Oberflächen der Schlagschwellen legte man 6 Fufs unter Amsterdamer Peil. Die Stirnpfeiler, Mittelpfeiler und vorderen Flügel-Mauern erheben sich bis 16 Fufs 9 Zoll über *AP*, der hintere oder landwärts gekehrte Theil des Bauwerkes ist dagegen 10 Fufs niedriger gehalten. In jeder Oeffnung befanden sich drei Paare Stemmthore. Die vorderen Thore sind Fluth-Thore und wie gewöhnliche Schleusenthore behandelt. Sie lehnen sich, wenn sie geschlossen werden, nur unten gegen Schlagschwellen, die 1 Fufs über den Schleusenboden vortreten. Ihre Wendesäulen stemmen sich aber in Wendenischen, und sonach bilden sie eine kräftige Verstrebung gegen den Druck des Hochwassers. Ihre obern Rahmen liegen 15 Fufs über *AP*. Das zweite Thorpaar ist gleichfalls gegen die See gekehrt, oder bildet wieder Fluththore, die jedoch 10 Fufs niedriger sind, also nur wenig über die gewöhnlichen Springfluthen reichen. Die Schlagsäulen erheben sich indessen wieder bis über die Schleusenmauern, um

die Thore in einfacher Weise öffnen, schliefsen und feststellen zu können.

Diese zweiten Thorpaare haben doppelten Zweck. Zunächst sind sie die eigentlichen Sielthore, die bei ruhiger Witterung allein benutzt werden, und indem sie sich von selbst öffnen und schliefsen, so veranlassen sie die Auswässerung und verhindern den Eintritt des Hochwassers in das Binnenland. Sie können deshalb auch durch Aufhalter gestützt werden, damit sie nicht etwa während der Fluth offen bleiben, vielmehr die erste eingehende Strömung sie schon faſst und verschliefst. Da jedoch hierdurch das Ausfluſs-Profil beschränkt wird und Wärter neben der Schleuse wohnen, so pflegt man diese Aufhalter nicht zu benutzen, so lange die Entwässerung recht kräftig erfolgen soll. Die Wärter ziehn alsdann die Thore bei jeder Ebbe scharf in die Thornischen, und drehn sie, sobald der Strom umsetzt, wieder zurück. Demnächst dienen diese Thore auch zur Vertheilung des Druckes bei ungewöhnlich hohen Fluthen. In solchem Falle werden die äufsern Thore geschlossen, und von den in Rede stehenden innern unterstützt. Damit aber zwischen beiden ein mittlerer Wasserstand sich darstellt und dauernd erhalten wird, befinden sich in jenen, wie in diesen noch Schütze, wodurch man theils den Zwischenraum in geeigneter Weise anfüllt, theils aber auch die Wasserverluste ersetzt, die bei gröfserer oder minderer Undichtigkeit eines Thorpaares den beabsichtigten Wasserstand zwischen beiden verändern würden.

Das zweite oder niedrige Paar der Fluththore lehnt sich, wenn es geschlossen ist, nicht nur unten, sondern auch oben an Schlagschwellen oder an einen Drempel. Letzterer besteht gleichfalls aus Holz, und auf den starken Mittelbalken, der die Basis des gleichschenkligen Dreiecks bildet, ist wieder eine Mauer gestellt, die den Raum bis zum Brückenbogen vollständig abschliefst. Diese Thore können daher, wenn die äufsern vielleicht aufser Thätigkeit gesetzt werden müfsten, noch einen Wasserstand abhalten, der höher ist, als sie selbst sind.

Endlich wurde bei der ersten Anlage jede Oeffnung, wie die Figuren zeigen, noch mit einem dritten Thorpaare, nämlich mit Ebbethoren versehn, die nach innen aufschlugen. Sie hatten die Höhe der hinteren Fluththore, und lehnten sich wie diese, wenn sie geschlossen waren, sowol unten, wie oben, gegen Schlagschwel-

len, die Zwischenräume zwischen dem obern Anschlage und der Brücke blieben jedoch offen, weil theils das Binnenwasser solche Höhe nicht erreichte, theils aber, wenn Letzteres etwa bei Deichbrüchen der Fall sein sollte, diese Thore gewifs nicht geschlossen werden durften. Ihre Flügel waren mit Spülthoren versehn, wie Fig. 47, *c* zeigt. Aufserdem hatten diese Ebbethore noch einen andern Zweck, sie sollten nämlich eine zu tiefe Senkung des Binnenwassers verhindern, und diese Rücksicht war vorzugsweise durch die sehr ausgedehnte Binnenschiffahrt geboten. Nichts desto weniger sind sie seit langer Zeit beseitigt, da beim Spülen der Canal-Mündung die viel längere Strecke bis zur dritten Schleuse *C* auch benutzt werden mufste und aufserdem ein höherer Wasserstand im Binnenlande, so oft es nöthig war, immer sehr sicher durch die Schütze in der Schleuse *A* erhalten werden konnte. Auf die doppelten Dammfalze an beiden Enden jeder Oeffnung wird noch aufmerksam gemacht, die zum Abschlusse bei vorkommenden Reparaturen dienen.

Die Schleuse *C* endlich ist ein Bauwerk, das sich von einer gewöhnlichen massiven Brücke wenig unterscheidet. Fig. 48, *a* und *b* stellt es in der Ansicht von der Seeseite und im Querdurchschnitte dar. Die Oeffnungen, deren es Anfangs nur drei hatte, sind 20 Fufs weit, und jede derselben kann durch ein sehr grofses Thor geschlossen werden, das sich stumpf gegen die Brückenpfeiler und den Bogen, und zugleich unten gegen eine hölzerne Schwelle lehnt. Die Mittelpfeiler haben zu diesem Zwecke ebene Stirnflächen erhalten, die mit den Bogen bündig sind, nur die Landpfeiler treten wie Fig. 48, *b* zeigt, darüber hervor, doch bildet der Theil zunächst der Oeffnung auch hier noch den nöthigen Anschlag für das Thor. Man schliefst diese Thore, wenn behufs einer beabsichtigten Spülung das Hochwasser der See eingelassen werden soll, und sie verhindern alsdann das Eindringen des Letzteren in das dahinter belegene Binnenland.

Neben diese letzte Schleuse wurde noch eine Dampfmaschine gestellt, die zunächst wohl den Zweck hatte, Seewasser auf ein daneben stehendes Gradirwerk zu pumpen, das jedoch nicht mehr existirt. Aufserdem verband man aber hiermit auch noch die Absicht, in der Zeit, wenn die Siele wegen hohen Aufsenwassers nur wenig wirken konnten, das Binnenwasser über die Schleuse *C* hin-

aus zu fördern, damit es von hier aus theils wegen der etwas gröfsern Höhe und theils weil es den vorderen Schleusen näher war, einen schnelleren Abflufs fände. Ob man von diesem gewifs wenig erfolgreichen Mittel jemals Gebrauch gemacht hat, ist nicht bekannt geworden.

Im Vorstehenden ist die ganze Anlage in ihrer ursprünglichen Einrichtung beschrieben. Sie erwies sich sogleich als sehr vortheilhaft und die Entwässerung des Rheinlandes erfolgte viel erfolgreicher und regelmäfsiger, als vorher, aber dennoch wurden die Erwartungen keineswegs vollständig erfüllt und eine nähere Untersuchung zeigte bald manche wesentliche Mängel. Das Wasser wurde nicht in dem Maafse abgeführt, wie das gewonnene Gefälle dieses erwarten liefs. Die Zuflüsse zum neuen Canale, also der alte Rhein, hatte nicht das erforderliche Profil, und es bildete sich daher schon in ihm ein merkliches Gefälle. Auch im Canale selbst und namentlich beim Durchgange des Wassers durch die drei Schleusen trat derselbe Uebelstand ein. Hierdurch wurde ein grofser Theil des an sich sehr schwachen Gefälles bei der Zuführung schon aufgehoben und die Entwässerung dadurch wesentlich beeinträchtigt. Die andern Siele, die früher das Wasser aus dem Rheinlande abgeführt hatten, mufsten daher noch fortwährend im Gebrauch bleiben. Als später die Trockenlegung des Haarlemmer Meeres beabsichtigt wurde, wobei die älteren Hauptabflüsse für das Rheinland gesperrt werden sollten, stellte sich die Nothwendigkeit zur Verbesserung der Anlage bei Catwijk dringend heraus. Diese ist im Jahre 1841 zur Ausführung gekommen und die in Fig. 45 angegebenen Dimensionen und Anlagen beziehn sich auf den gegenwärtigen Zustand.

Zunächst mufste für eine bessere Zuleitung des Wassers aus dem Binnenlande gesorgt werden, die bisher nur durch den alten Rhein geschah. Zu diesem Zweck wurde ein ganz neuer Canal von 1100 Ruthen Länge ausgeführt. Derselbe hatte bei Poelgeest in demjenigen Canale seinen Anfang, der Leyden mit Haarlem verbindet. Er zieht sich bei Oegstgeest vorbei und tritt bei Catwijk a. d. R. in den alten Rhein. Er ist in dem Horizont von *AP* 127½ Fufs, und in seiner Sohle, die 7 Fufs darunter liegt, 100 Fufs breit. Der alte Rhein blieb ziemlich unverändert, doch ist seine weitere Verbesserung noch in Aussicht genommen. Der aus der

Verbindung beider sich bildende Haupt-Entwässerungs-Canal erhielt unter Beibehaltung seiner Tiefe die Breite von 166 Fufs im Horizonte *AP*, und 7 Fufs darunter oder in seiner Sohle von 137 Fufs. Die Dossirungen wurden aber über und unter Wasser mit Steinen bedeckt, die sich gegen verschiedene Reihen Flechtzäune lehnen.

Demnächst wurde die Schleuse *C* mit drei neuen Oeffnungen von derselben lichten Weite, wie die frühern, versehn, so dafs ihr Durchflufs-Profil sich verdoppelte. Die Schleuse *B* erhielt dagegen an jeder Seite noch eine mit den drei ältern übereinstimmende Oeffnung. Die Schleuse *A* blieb unverändert, da ihr Umbau oder Neubau theils zu kostbar erschien, und man theils den sehr sichern Schutz, den sie bot, selbst für kürzere Zeit nicht unterbrechen wollte. Die Senkung der verschiedenen Schlagschwellen unterblieb gleichfalls, weil man zu diesem Zwecke die vorhandenen Werke vollständig hätte abbrechen müssen, während sie sich noch in gutem Stande befanden. Dagegen konnten die erwähnten Anbaue ausgeführt werden, ohne die Schleusen aufser Thätigkeit zu setzen. Die Rücksicht auf den ununterbrochenen Fortgang der Entwässerung, der selbst für kurze Zeit nicht gestört werden durfte, war bei Aufstellung der Projecte für diese Umbaue vorzugsweise maafsgebend gewesen.

Die Erfolge erwiesen sich sehr befriedigend. Die vom Ingenieur Kock angestellten Messungen ergaben nämlich, dafs gegenwärtig im Durchschnitt das Doppelte der früheren Wassermenge abgeführt wird.

Ende des ersten Bandes.

Gedruckt bei A. W. Schade in Berlin, Stallschreiberstr. 47.